

PERENCANAAN TURBIN ANGIN SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK

SKRIPSI

OLEH :

YUSDIANSYAH

NIM : 061210106



**JURUSAN TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PONTIANAK**

2011

PERENCANAAN TURBIN ANGIN SEBAGAI

PEMBANGKIT LISTRIK

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik (S-1) Pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muhammadiyah Pontianak*

Di susun Oleh :

YUSDIANSYAH

061210106



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PONTIANAK
2011**

PERENCANAAN TURBIN ANGIN SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK

Yusdiansyah

Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin

Universitas Muhammadiyah Pontianak

INTI SARI

Yang melatar belakangi penulis mengangkat judul Perencanaan Turbin angin sebagai pembangkit listrik, dilihat dari kurangnya listrik di daerah terpencil yang belum mendapatkan aliran listrik, daerah terpencil tersebut masih banyak menggunakan mesin diesel untuk menghasilkan listrik yang di mana banyak menggunakan bahan bakar.

Listrik sangat di butuhkan oleh masyarakat untuk keperluan seperti penerangan, masak, dan lain-lain, Setelah melihat dari latar belakang di atas maka, penulis merencanakan turbin angin sebagai pembangkit listrik.

Direncanakan turbin angin ini berjenis turbin angin horizontal dengan kecepatan angin yang di dapat pertahun sebesar 2 m/detik dengan menggunakan 2 sudu dengan menghasilkan daya listrik yang cukup kecil yaitu hanya sebesar 0,0071784 kw dengan ketinggian 10 m, ada pun perhitungan yang akan dilakukan penulis yaitu, perhitungan daya yang di hasilkan turbin angin, perhitungan poros, perhitungan pasak, perhitungan roda gigi, perhitungan bantalan, dan perhitungan daya motor.

Dari perhitungan tersebut di dapatlah hasil perencanaan mesin yaitu, diameter sudu 2 m, tebal sudu 1 cm, daya yang dapat di hasilkan turbin angin sebesar 3,988 w, putaran sudu sebesar 38,216 Rpm, diameter poros 1,3 cm, diameter roda gigi penggerak sebesar 20 cm, dan diameter roda gigi yang di gerakkan sebesar 2 cm, daya listrik yang di hasilkan oleh generator sebesar 0,0071784 kw.

Kata Kunci : *Pembangkit listrik, Turbin angin.*

PERENCANAAN TURBIN ANGIN SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK

Yusdiansyah

Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin

Universitas Muhammadiyah Pontianak

ABSTRAC

One that backgrounds writer to lift blustery Turbine planning title as power station, seen from its reducing electricity at purilieus that haven't gotten electric current, that purilieus still a lot of utilize diesel engine to result whereabouts electricity a lot of utilizes fuel.

Electricity so at needs by society for stationary as lighting, cook, etc., After sees from background upon therefore, writer plots wind turbine as power station.

Plotted by this blustery turbine gets blustery turbine type horizontal with blustery speed that at gets pertahun as big as 2 m / sec by use of 2 sudu by results electricities that adequately little which is just as big as 0,0071784 kW with a high 10 m, there is count even that will do writer which is, count energis that at results wind turbine, axis count, launching count, gear count, bolster count, , and motor energy count.

Of that count at gets machine planning result which is, sudu's diameter 2 m, sudu's thick 1 cm, energy who can at results wind turbine as big as 3,988 w, sudu's lap as big as 38,216 Rpm, axis diameter 1,3 cm, actuating gear diameter as big as 20 cm, and gear diameter that at moves as big as 2 cm, electricity that at results by generator as big as 0,0071784 kW.

Key word : *Power station, Blustery turbine.*

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “ **PERENCANAAN TURBIN ANGIN SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK**” dapat di selesaikan.

Tugas akhir ini di ajukan sebagai syarat untuk menempuh ujian sederhana strata (S-1) pada jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Pontianak. dalam penyusunan tugas akhir ini di penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Terima kasih kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah dan anugrah yang terbesar dalam hidup ini yang tak dapat di ucapkan dengan kata-kata hanya kata syukur yang bisa di ucapkan dari mulut ini.
2. Terima kasih kepada Eko Sarwono ST, MT dan Fuazen. ST selaku Dekan dan Wakil Dekan, para dosen dan staf fakultas teknik jurusan teknik mesin Universitas Muhammadiyah Pontianak.
3. Terima kasih kepada Gunarto ST, M, Eng dan Aspiansyah ST, M, Eng selaku pembimbing I dan II yang telah membimbing saya menyelesaikan skripsi ini sampai selesai.
4. Terima kasih kepada Fuazen. ST dan Doddy Irawan selaku penguji I dan II yang telah menguji Tugas Akhir ini sampai selesai.
5. Terima kasih kepada orang tua (H.M. Yusuf. Yusin dan Hj. Mursidah. Ayub), abang (Yusdianto) sekeluarga, dan seluruh keluarga baik paman, bibi, abang, kakak, adek, yang sangat saya sayangi yang telah memberikan doa dan dorongan lahir dan batin agar kuat dalam menjalankan kuliah ini sampai selesai.

6. Terima kasih kepada Aini yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan skripsi ini dan selalu hadir untuk mendampingi dan memberikan semangat dan dukungan dalam menyelesaikan skripsi ini sampai selesai.
7. Terima kasih kepada teman-teman teknik angkatan 2006, senior-senior fakultas teknik, teman-teman di fakultas perikanan, ekonomi, dan kesehatan masyarakat, dan teman-teman di luar kampus yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan, suport dan dukungan agar Tugas Akhir ini bisa selesai.

Dalam mengerjakan tugas akhir ini, tentunya tak luput dari kekurangan atau pun kesalahanyang merupakan suatu kehilapan atau pun keterbatasan pengetahuan penulis.oleh karena itu semua masukan baik saran maupun kritik sangat penulis harapkan agar penulisan selanjutnya dapat lebih sempurna. Semoga tugas akhir Ini dapat berguna bagi siapa saja yang memerlukannya.

Pontianak, Agustus, 2011

Penulis

YUSDIANSYAH

061210106

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN SEMINAR TUGAS AKHIR.....	
LEMBAR PENGESAHAN.....	
LEMBAR PERSETUJUAN.....	
INTISARI.....	i
ABSTRAC.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR ISI.....	v
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat	4
1.5 Metode Penulisan.....	5
1.6 SistematikaPenulisan	6
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Landasan Teori.....	8
2.2. Angin.....	11
2.2.1. Pengudaraan Oleh TekananAngin	11
2.2.2. Potensi Angin di Indonesia	12

2.3. Turbin Angin.....	14
2.3.1. Jenis Turbin Angin.....	14
2.3.2. Mekanisme Turbin Angin.....	18
2.4. Kontruksi Turbin Angin	19
2.4.1. Sudu	19
2.4.2. Poros	25
2.4.3. Bantalan	29
(1). Jenis-jenis Bantalan Gelinding	29
2.4.4. Tranmisi	32
(1).Nama-nama Bagian Roda Gigi.....	35
(2). Perbandingan Putaran dan Perbandingan Roda Gigi	38
2.4.5. Pasak	39
2.4.6. generator	43

BAB III PERHITUNGAN

3.1 Kontruksi Turbin Angin	48
3.1.1 Daya yang dihasilkan.....	48
3.1.2 Perhitungan roda gigi.....	52
3.1.3 Perhitungan poros	58
3.1.4 Perhitungan pasak	61
3.1.5 Perhitungan bantalan.....	63
3.1.6 Perhitungan daya generator.....	71

BAB IV PENUTUP

4.1 Kesimpulan	72
4.2 Saran	72

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar	2.1.	Turbin Angin Propeller.....	15
Gambar	2.2.	Turbin angin Darrieus.....	16
Gambar	2.3.	Anemometer.....	17
Gambar	2.4.	Berbagai jenis turbin angin.....	22
Gambar	2.5.	Torsi rotor untuk berbagai jenis turbin angin.....	22
Gambar	2.6.	Efisiensi rotor dan soliditas rotor.....	24
Gambar	2.7.	Efisiensi rotor untuk berbagai tipe turbin Angin.....	25
Gambar	2.8.	Poros Bertingkat.....	26
Gambar	2.9.	Jenis-jenis bantalan gelinding.....	30
Gambar	2.10.	Jenis-jenis roda gigi.....	34
Gambar	2.11	Nama-nama bagian roda gigi.....	35
Gambar	2.12.	Macam-Macam Pasak.....	40
Gambar	2.13.	Gaya gesek pada pasak.....	41
Gambar	2.14.	Kaidah tangan kanan Fleming.....	43
Gambar	2.15.	Konstruksi generator sinkron.....	45
Gambar	2.16.	Generator.....	46

Gambar	3.1.	Bentuk sudu.....	47
Gambar	3.2.	Bentuk Rotor.....	48
Gambar	3.3	Roda gigi tranmisi.....	51
Gambar	3.4	Perbandingan roda gigi	52
Gambar	3.5	Penempatan poros.....	57
Gambar	3.6	Gaya pasak.....	60
Gambar	3.7	Penempatan Bantalan.....	63

DAFTAR TABEL

Tabel	2.1.	Tingkat kecepatan angin 10 meter di atas permukaan laut....	9
Tabel	2.2.	Pertumbuhan dimensi turbin angin hingga tahun 2010.....	10
Tabel	2.3.	Produksi Angin di Indonesia.....	13
Tabel	2.4.	Perbandingan dari skala meter/detik.....	14
Tabel	2.5.	Faktor-faktor koreksi daya yang akan di tranmisikan f_c	26
Tabel	2.6.	Klasifikasi Roda Gigi	35
Tabel	2.7	Harga modul standar	39

BAB I

1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan kebutuhan manusia yang sangat penting dalam kehidupannya. Hampir semua kegiatan manusia di setiap harinya, memerlukan listrik yang pastinya diperlukan sebuah pembangkit listrik untuk dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Pada pembangkit listrik konvensional, penggunaan bahan bakar fosil sebagai bahan bakar utama merupakan hal yang cukup kontras terhadap isu menipisnya cadangan sumber-sumber bahan bakar minyak. Sebagai konsekuensi atas kebutuhan manusia akan listrik, maka harus dicari semacam solusi terhadap pemenuhan listrik dengan pemanfaatan energi alternatif terbarukan. Salah satu energi alternatif terbarukan yang saat ini cukup mendapat perhatian di kalangan pengusaha serta ilmuwan dalam bidang energi, adalah penggunaan energi angin untuk menggerakkan turbin angin guna memenuhi kebutuhan manusia akan kebutuhan listrik.

Pemanfaatan energi angin sebenarnya bukan barang baru bagi umat manusia. Semenjak 2000 tahun lalu teknologi pemanfaatan sumber daya angin dan air sudah dikenal manusia dalam bentuk kincir angin (*wind mills*). Selain ramah lingkungan, sumber energi ini juga selalu tersedia setiap waktu dan memiliki masa depan bisnis yang menguntungkan. Kini sebagian besar negara maju di Eropa dan Amerika Serikat telah memanfaatkan sumber energi ini. Pada masa awal perkembangannya, teknologi energi angin lebih banyak dimanfaatkan sebagai pengganti tenaga manusia dalam bidang pertanian dan manufaktur, maka kini dengan teknologi dan bahan yang baru, manusia membuat turbin angin untuk membangkitkan energi listrik yang bersih akan polusi, baik untuk penerangan, sumber panas atau tenaga pembangkit untuk alat-alat rumah tangga. Menurut data dari *American Wind Energy Association (AWEA)*, hingga saat ini telah ada sekitar

20.000 turbin angin diseluruh dunia yang dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik. Kebanyakan turbin semacam itu dioperasikan di lahan khusus yang disebut “ladang angin” (*wind farm*).

Di kalimantan barat terdapat beberapa taman wisata salah satunya adalah wisata rindu alam yang tempat wisata yang baru saja dibuka untuk umum. Lokasinya terletak diantara Gunung Bajau, Gunung kota dan Gunung Pelapis. Hanya berjarak 18 km dari wisata Pasir Panjang dan Palm Beach, objek wisata alam yang sudah sangat terkenal di Kalimantan Barat. Rindu alam berada pada ketinggian sekitar 400m dari permukaan laut.

Dengan adanya taman wisata rindu alam yang mempunyai pemandangan alam yang sangat mempesona dan baru di buka untuk umum, tentunya konsumsi listrik untuk kedepan sangat di perlukan untuk penerangan di wisata rindu alam, akan tetapi penyediaan pasokan listrik serta suplai yang telah ada saat ini sangatlah sulit dan dapat mempengaruhi minat pengunjung wisata pada malam hari, wisata rindu alam terlihat sepi dan gelap pada malam hari ,maka dari pada itu wisata rindu alam akan mengalami kekurangan peminat pengunjung di malam hari. Dari pada itu di perlukan teknologi yang bisa memanfaatkan sumber daya alam dan ketinggian wisata rindu alam yang berada pada ketinggian 400m dari permukaan laut.

Maka dari pada itu penulis mencoba untuk merencanakan turbin angin untuk pembangkit listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik di wisata rindu alam dengan memanfaatkan angin di daerah tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Melihat latar belakang yang telah terpaparkan diatas, maka perlu adanya teknologi yang dapat di aplikasikan dengan memanfaatkan energi angin sebagai energi alternatif terbarukan sebagai pembangkit listrik.

Untuk pemanfaatan energi angin sebagai pembangkit listrik yang di mana penulis akan merencanakan turbin angin propeler dengan menggunakan dua sudu untuk memenuhi kebutuhan penerangan di Taman Rindu Alam Singkawang Kalimantan Barat.

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam skripsi ini adalah :

1. Sumber energi yang digunakan dalam perencanaan ini adalah yaitu angin dengan data kecepatan angin rata-rata yang di dapat dari BMKG Siantan Pontianak Jln.Raya Jungkat.
2. Turbin angin yang di pilih oleh penulis hanya menggunakan Turbin Angin Propeler.
3. Penulis ini hanya membahas turbin angin dengan menggunakan 2 buah blade/sudu.
4. Tidak membahas masalah sudut pada blade/sudu
5. Perencanaan ini hanya menghitung daya yang dihasilkan dari jumlah putaran blade/sudu pada kincir angin dengan kecepatan rata-rata angin yang di dapat untuk menggerakkan generator.

1.4 Tujuan Penulisan

Tujuan umum :

1. Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh kelulusan mata kuliah dan gelar sarjana di universitas muhammadiyah pontianak khususnya fakultas teknik mesin.
2. Sebagai sarana penerapan atau aplikasi dari pengetahuan yang dibangku kuliah baik secara langsung maupun tak langsung.

Tujuan khusus :

1. Dapat mempelajari tentang pusat Pembangkit Listrik Tenaga Angin sebagai energi yang ramah lingkungan serta cara kerja dari alat pembangkit tenaga listrik tenaga angin.
2. Dapat membantu mengurangi pemakaian bahan bakar minyak pada pembangkit listrik mesin diesel di wisata rindu alam singkawang.
3. Dapat mengetahui kemampuan turbin angin propeler untuk menggerakkan generator pada data kecepatan angin yang di dapat di BMKG siantan Pontianak Jln.Raya jungkat.
4. Dapat mengetahui daya yang di hasilkan oleh setiap putaran turbin angin propeler dengan menggunakan dua sudu.
5. Dapat memanfaatkan angin sebagai pembangkit listrik di daerah wisata rindu alam singkawang.

1.5 Metode Penulisan

Dalam usaha mengumpulkan data-data yang di perlukan untuk perencanaan kincir angin bersudu banyak, penulis menggunakan teknik-teknik sebagai berikut:

- a.) Wawancara, penulis mengadakan interview langsung di tempat wisata rindu alam yang ada di daerah kota singkawang,dimana tempat tersebut adalah salah satu tempat wisata yang ada di daerah singkawang sebagai tempat perencanaan turbin angin.
- b.) Observasi,penulis mengadakan pengamatan langsung pada mesin-mesin yang sistem kerjanya sama atau hampir sama dengan mesin yang akan direncanakan pada tugas akhir ini.
- c.) Studi literatur, penulis mempelajari dan mengumpulkan teori-teori yang ada hubungannya dengan penyelesaian tugas akhir ini.

d.) Merencanakan turbin angin untuk membantu memenuhi kebutuhan penerangan yang ada di wisata rindu alam. Turbin angin yang akan direncanakan ini mempunyai bagian-bagian yang saling berhubungan sehingga turbin angin dapat bekerja dengan apa yang di harapkan.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari penyusunan tugas akhir ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang: Latar Belakang, Permasalahan, Batasan Masalah, Tujuan Penulisan, Metode Penulisan dan Sistematika Penulisan.

BAB II TEORI DASAR

Bab ini membahas tentang : karakteristik angin sebagai penggerak turbin, jenis turbin angin, mekanisme turbin angin yang akan direncanakan, komponen-komponen turbin angin.

BAB III PERHITUNGAN PERENCANAAN

Bab ini membahas tentang: Perhitungan daya yang di hasilkan pada setiap putaran blade/sudu turbin angin propeller yang dapat menghasilkan daya listrik yang di inginkan pada generator.

BAB IV PENUTUP

Bab ini membahas tentang : berisikan tentang kesimpulan dan saran.

BAB II

2.1 Landasan Teori

Di negara-negara Eropa, pemanfaatan sumber energi yang dapat diperbaharui diperkirakan bakal mencapai 8% dari permintaan energi di tahun 2005. Energi angin menjadi salah satu alternatif yang banyak dipilih dan sekaligus berfungsi mengurangi emisi gas karbondioksida (CO₂) yang dihasilkan oleh perangkat sumber energi sebelumnya. Tujuh tahun belakangan ini, kapasitas energi angin terpasang di Eropa melonjak hingga 40% per tahun dan saat ini kapasitas tersebut dapat memenuhi kebutuhan listrik lebih dari 5 juta kepala keluarga. Industri energi tenaga angin diperkirakan bakal memiliki kapasitas 40.000 MW (mega Watt) yang dapat mencukupi kebutuhan listrik untuk 50 juta kepala keluarga pada tahun 2010.

Indonesia, negara kepulauan yang 2/3 wilayahnya adalah lautan dan mempunyai garis pantai terpanjang di dunia yaitu ± 80.791,42 Km merupakan wilayah potensial untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin, namun sayang potensi ini nampaknya belum dilirik oleh pemerintah. Sungguh ironis, disaat Indonesia menjadi tuan rumah konferensi dunia mengenai pemanasan global di Nusa Dua, Bali pada akhir tahun 2007, pemerintah justru akan membangun pembangkit listrik berbahan bakar batubara yang merupakan penyebab nomor 1 pemanasan global.

Syarat – syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dapat dilihat pada tabel berikut.

TINGKAT KECEPATAAN ANGIN 10 METER DI ATAS PERMUKAAN TANAH		
Kelas Angin	Kecepatan Angin m/d	Kondisi Alam di Daratan
1	0,00 - 0,02	
2	0,3 - 1,5	Angin tenang asap lurus ke atas
3	1,6 - 3,3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3,4 - 5,4	Wajah terasa ada angin, daun-daun bergoyang pelan, penunjuk arah angin bergerak
5	5,5 - 7,9	Debu jalan, kertas berterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8,0 - 10,7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10,8 - 13,8	Ranting pohon besar bergoyang, air pelampung berombak kecil
8	13,9 - 17,1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga
9	17,2 - 20,7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20,8 - 24,4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24,5 - 28,4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28,5 - 32,6	Menimbulkan kerusakan parah
13	32,7 - 36,9	Tornado

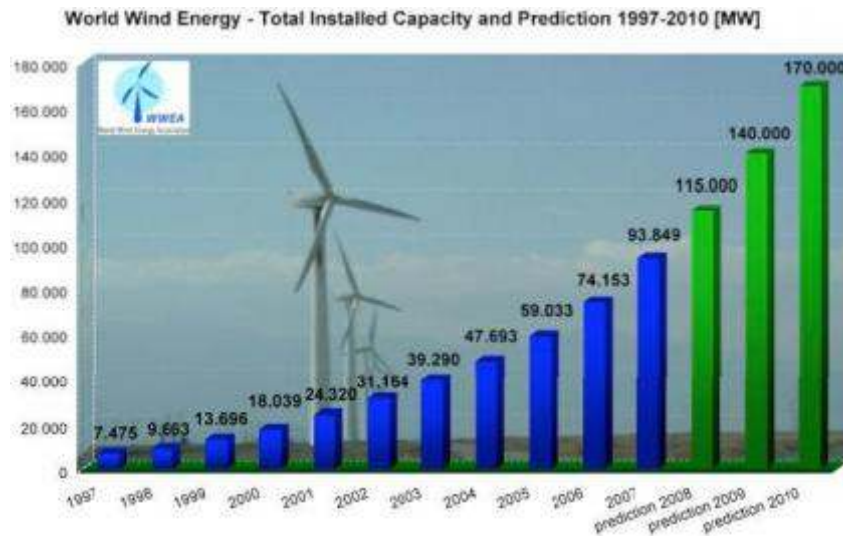
Tabel.2.1 Tingkat kecepatan angin 10 meter di atas permukaan laut.

Angin kelas 3 adalah batas minimum dan angin kelas 8 adalah batas maksimum energi angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

Pemanfaatan energi angin merupakan pemanfaatan energi terbarukan yang paling berkembang saat ini. Berdasarkan data dari *WWEA (World Wind Energy Association)*, sampai dengan tahun 2007 perkiraan energi listrik yang dihasilkan oleh turbin angin mencapai 93.85 GigaWatts, menghasilkan lebih dari 1% dari total kelistrikan secara global. Amerika, Spanyol dan China merupakan negara terdepan dalam pemanfaatan energi angin. Diharapkan pada tahun 2010 total kapasitas pembangkit listrik tenaga angin secara global mencapai 170 GigaWatt.

Dapat di lihat pada tabel 1.2 yang di dapat dari sumber wendi kurnianto

<http://wartawarga.gunadarma.ac.id/2009/12/44567/>



Tabel 2.2 Pertumbuhan dimensi turbin angin hingga tahun 2010 (*Klose & Dalhoff, 1997*).

Di tengah potensi angin melimpah di kawasan pesisir Indonesia, total kapasitas terpasang dalam sistem konversi energi angin saat ini kurang dari 800 kilowatt. Di seluruh Indonesia, lima unit kincir angin pembangkit berkapasitas masing-masing 80 kilowatt (KW) sudah dibangun. Tahun 2007, tujuh unit dengan kapasitas sama menyusul dibangun di empat lokasi, masing-masing di Pulau Selayar tiga unit, Sulawesi Utara dua unit, dan Nusa Penida, Bali, serta Bangka Belitung, masing-masing satu unit. Mengacu pada kebijakan energi nasional, maka pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) ditargetkan mencapai 250 megawatt (MW) pada tahun 2025.

2.2 Angin

Pengertian angin adalah gerakan udara dari daerah yang bertekanan tinggi ke daerah yang bertekanan rendah.

2.2.1 Pengudaraan Oleh Tekanan Angin

Dalam iklim panas-lembab, kelajuan angin diperlukan untuk menyejukkan kulit. Angin yang ada perlu ditangkap dan digunakan sepenuhnya dan di manfaatkan. Kesan angin berlebihan dapat dikontrol menggunakan kaidah manual atau otomatik. Apabila angin bertiup dan mengenai bangunan, tekanan statik terbentuk di bagian dinding luar dan ditentukan oleh arah angin. Penyebaran tekanan angin dipengaruhi beberapa faktor :

- Bentuk bangunan
- Kelajuan angin dan arah
- Lokasi dan lingkungan

Tekanan permukaan positif di bagian angin datang dan negatif di bagian belakang angin. Walau bagaimanapun, tekanan pada sisi boleh jadi negatif atau positif bergantung kepada sudut tuju angin dan bentuk bangunan. (*Hery Alamsyah, Pemanfaatan Turbin Angin Dua Sudu Sebagai Penggerak Mula Alternator Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin.*)

2.2.2 Potensi Angin di Indonesia

Angin merupakan faktor penting. Angin merupakan gerakan udara terhadap permukaan bumi. Kecepatan gerakan udara itu dinamakan "kecepatan angin". Kondisi geografis yang dimiliki Indonesia merupakan sebuah nilai lebih yang dapat dimanfaatkan dalam pengembangan teknologi energi terbarukan, khususnya angin. Daerah pantai merupakan salah satu contoh tempat yang dapat diterapkan sebagai pengembangan aplikasi teknologi energi terbarukan, yaitu angin. Potensi angin di

daerah pantai memang sangat besar dalam pengembangan aplikasi energi terbarukan.

Pada tabel 1.3 di bawah ini dapat dilihat data mengenai perkiraan wilayah produksi energi angin di Indonesia yang di dapat dari majalah *LAPAN No. 16* Tahun ke-4 “*Pemanfaatan Kincir Angin Untuk Destilasi Air Laut*” yang di tulis oleh *Gallant. E.* Tahun 2009

No.	Daerah	Luas WPEA (kilometer persegi)	Daya Listrik yang dapat dihasilkan (MW)
1.	Jawa	1200	9600
2.	Sumatra	1000	8000
3.	Kalimantan	600	4800
4.	Sulawesi	800	6400
5.	Nusa Tenggara	500	4000
6.	Lainnya	500	4000
	Jumlah	4600	36800

Tabel 2.3 Produksi Angin di Indonesia (*Gallant. E.*Tahun 2009)

Di sini diberikan sebuah perbandingan potensi angin dari skala meter/detik dan skala *Beaufort*.

Skala Beaufort	Skala Persen	Uraian Jelas Dari Angin		Kecepatan Angin	
		Lazin	Lazim	(m/s)	
		di pakai di laut	Dipakai di darat		
0	Datar	Suasana sunyi	Tidak ada angin	0 - 0,2	0 -1
1	Datar	Lemah dan sunyi	Angin Lemah	0,3 - 1,5	2,0 - 5,0
2	Riakan Ringan	Kesejukan lemah	Angin Lemah	1,6 - 3,3	6,0 - 11
3	Riakan sampai bergelombnag ringan	Kesejukan	Angin sedang	3,4 - 5,4	12,0 - 19
4	Bergelombang	Kesejukan sedang	Angin sedang	5,5 - 7,9	20 - 28
5	Dahsyat	angin sepoi-sepoi	angin yang	8,0 - 10,7	29 - 38

		yang sedang	cukup kencang		
6	Laut yang agak dahsyat	angin sepoi-sepoi yang kaku	Angin kencang	10,8 -13,8	39 - 49
7	Laut yang liar	-	angin keras	13,9 -17,1	50 - 61
8	Laut yang tinggi	-	Angin taufan	17,2 -20,7	62 - 74
9	Laut yang tinggi	-	Taufan	20,8 -24,4	75 - 88
10	Laut yang sangat tinggi	-	Taufan berat	24,5 -28,4	89 - 102
11	Laut yang luar bisa tinggi	-	Badai	28,5 -32,6	103 - 117
12	dan liar	-	Badai	> 32,6	> 117

Tabel 2.4 Perbandingan dari skala meter/detik (*Harm Hofman : 1987*)

2.3 Turbin Angin

2.3.1. Jenis Turbin Angin

Dalam perkembangannya, turbin angin dibagi menjadi dua jenis turbin angin Propeller dan turbin angin Darrieus. Kedua jenis turbin inilah yang kini memperoleh perhatian besar untuk dikembangkan. Pemanfaatannya yang umum sekarang sudah digunakan adalah untuk memompa air dan pembangkit tenaga listrik.

Turbin angin terdiri atas dua jenis, yaitu :

- a. Turbin angin Propeller adalah jenis turbin angin dengan poros horizontal seperti baling – baling pesawat terbang pada umumnya dan sudu turbin angin propeller ini menghadap arah angin yang diarahkan sesuai dengan arah angin yang paling tinggi kecepatannya. Keuntungan dari turbin propeller dasar menara yang tinggi yang membolehkan akses ke

angin yang lebih kuat di tempat-tempat yang memiliki geseran angin (perbedaan antara laju dan arah angin antara dua titik yang jaraknya relatif dekat di dalam atmosfer bumi). Di sejumlah lokasi geseran angin, setiap sepuluh meter ke atas, kecepatan angin meningkat sebesar 20%.



Gambar 2.1 Turbin Angin Propeller

(http://mizhuyung.blogspot.com/2008_11_01_archive.html)

- b. Turbin angin Darrieus merupakan suatu sistem konversi energi angin yang digolongkan dalam jenis turbin angin berporos tegak. Turbin angin ini pertama kali ditemukan oleh *GJM Darrieus* tahun 1920. Keuntungan dari turbin jenis Darrieus adalah tidak memerlukan mekanisme orientasi pada arah angin (tidak perlu mendeteksi arah angin yang paling tinggi kecepatannya) seperti pada turbin angin propeller.



Gambar 2.2 Turbin angin Propeller dan Darrieus

Kecepatan angin diukur dengan alat yang disebut anemometer. Anemometer jenis mangkok adalah yang mempunyai sumbu vertikal dan tiga buah mangkok yang berfungsi menangkap angin.



Gambar 2.3 Anemometer

Jumlah putaran per menit dari poros anemometer dihitung secara elektronik. Biasanya, anemometer dilengkapi dengan sudut angin untuk mendeteksi arah angin. Jenis anemometer lain adalah anemometer

ultrasonik atau jenis laser yang mendeteksi perbedaan fase dari suara atau cahaya koheren yang dipantulkan dari molekul – molekul udara. (*M.Safarudin : 2003*).

Sehubungan dengan adanya perbedaan kecepatan angin dari berbagai ketinggian yang berbeda, maka tinggi pemasangan anemometer ini biasanya disesuaikan dengan tujuan atau kegunaannya. Untuk Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika memasang anemometer pada umumnya dipasang dengan ketinggian 10 m dengan menggunakan sensor (mangkok). Anemometer di pasang di daerah terbuka pada pancang yang cukup kuat, 2 meter di atas permukaan tanah untuk mengumpulkan data penunjang bagi pengukuran penguapan Panci Kelas A.

Kecepatan angin minimum untuk menggerakkan sebuah turbin angin berskala kecil (10 kW), dapat menghasilkan listrik dengan kecepatan angin rata-rata sebesar 3 m/s. Sedangkan untuk turbin angin berskala besar (100 kW) dapat menghasilkan listrik dengan kecepatan angin rata-rata sebesar 5 m/s. (*Yuli Settyo : 2005*)

2.3.2 Mekanisme Turbin Angin

Sebuah pembangkit listrik tenaga angin dapat dibuat dengan menggabungkan beberapa turbin angin sehingga menghasilkan listrik ke unit penyalur listrik. Listrik dialirkan melalui kabel transmisi dan didistribusikan ke rumah – rumah, kantor, sekolah, pabrik dan sebagainya. Turbin angin dapat memiliki tiga atau dua buah blade/sudu turbin. Turbin angin menggunakan angin untuk membuat listrik. Angin akan memutar blade/sudu turbin, kemudian memutar sebuah poros yang berhubungan

dengan roda gigi dan dihubungkan ke generator, lalu generator akan menghasilkan listrik.

Sistem semula jadi pengudaraan digerakkan oleh tiga kaidah :

1. Tekanan Angin
2. Kesan Tingkat (perbedaan suhu)
3. Campuran tekanan angin & perbedaan suhu

(*M. Safarudin : 2003*)

2.4. Kontruksi Turbin Angin

Kontruksi turbin angin secara umum dijelaskan, terdiri dari sudu, poros, bantalan, gearbox, generator.

2.4.1. Sudu

Sudu merupakan bagian dari sebuah turbin angin berupa pelat yang rata. Bila sejumlah udara dengan kecepatan bergerak melalui bidang seluas R^2 (luas sudu), maka daya yang terdapat di dalam angin dapat ditentukan dengan persamaan yang di dapat dalam buku *Gary L.Johnson "Wind Energi Sistem"*:

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (W) \quad (Wind\ Energi\ Sistem\ hal:\ 4-1)$$

$$P = \text{Daya (watt)}$$

$$\rho = \text{Kerapatan udara (Kg/m}^3\text{)}$$

$$V = \text{Kecepatan angin (m/s)}$$

$$A = \text{Luas sudu (m}^2\text{)}$$

Energi kinetik dari satu m^3 udara yang bergerak, ditentukan dengan rumus:

$$E = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (\text{W}) \quad (\text{Wind Energi Sistem hal: 4-1})$$

E = Energi (Joule)

ρ = Kerapatan udara (Kg/m³)

v = Kecepatan angin (m/s)

TSR (*Tip Speed Ratio*) atau perbandingan kecepatan di *tip* kincir angin (ujung) dan kecepatan angin yang didapat oleh kincir.

Di dalam menghitung TSR (λ) dapat menggunakan persamaan yang di dapat :

$$\lambda = \frac{\omega \cdot r}{v} \quad (\text{Wind Energi Sistem hal: 4-9})$$

Dimana :

ω = Rotasi putaran turbin angin (Rad/s)

r = Radius rotor turbin angin (m)

Untuk rotasi putaran turbin dapat di hitung dengan persamaan:

$$\omega = \frac{2 \pi v}{60} \quad (\text{Rad/s}) \quad (\text{Wind Energi Sistem hal: 4-9})$$

Di dalam tugas akhir "***Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Pada Stasiun Pengisian Accu Mobil Listrik***" Moh. Saiful Anwar yang di kutip dari buku ***Kadir A. 1987. Energi Angin. Dalam: Energi. UI-Pres. 243-257*** Torsi dari sebuah turbin angin dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Torque} = \frac{v^2 R^3}{\lambda^2} \quad (\text{Moh. Saiful Anwar. Hal : 8})$$

TSR mempengaruhi kecepatan putaran turbin angin(rpm). Hubungan TSR dengan kecepatan yaitu :

Shaft speed = $60\lambda v/(\pi D)$ rpm (Moh. Saiful Anwar. Hal : 9)

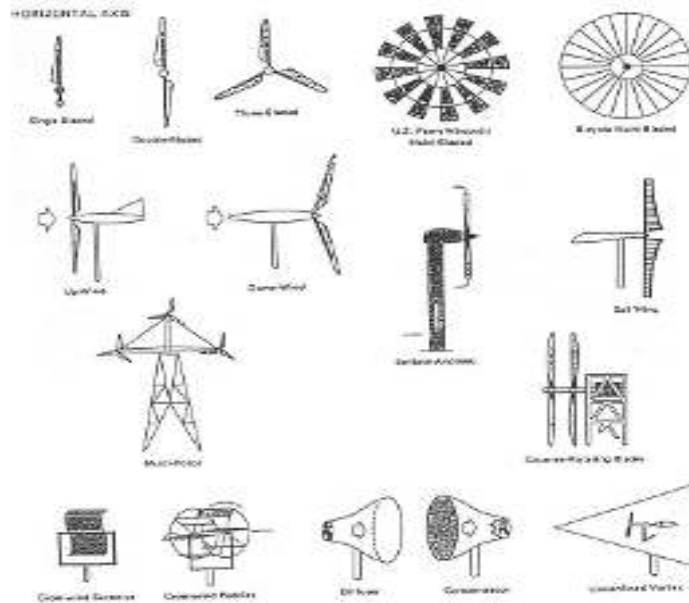
Dimana :

D = Diameter rotor (m)

Untuk mendapatkan hasil yang optimal maksimal dari sebuah turbin angin maka perlu diperhatikan sebagai berikut :

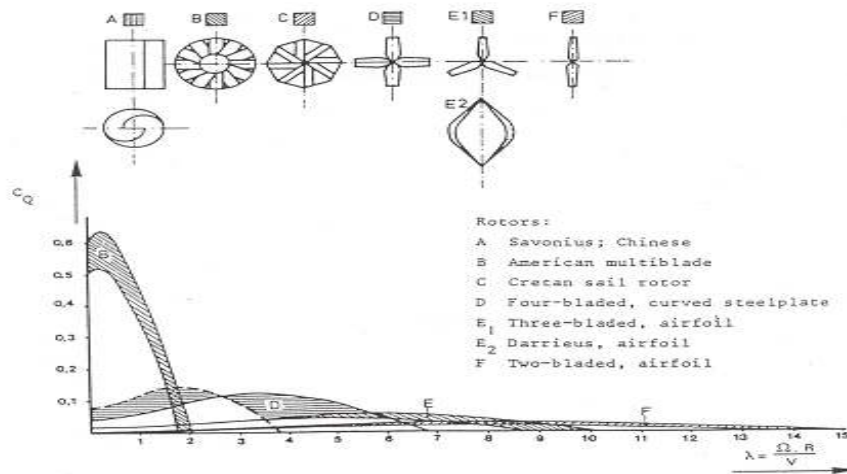
1. Bentuk sudu seperti sekerup atau memuntir, sehingga aerodinamisnya semakin baik.
2. Untuk mendapatkan energi yang lebih baik sayap – sayap dipasang langsung pada rotor.
3. Untuk sudu yang ideal berjumlah 3 buah sudu, karena menghasilkan pembagian gaya dan keseimbangan yang lebih baik dalam putaran. **Harm Hofmsn: 1987 (T.A. Hery Alamsyah.Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang 2007 “Turbin Angin Penggerak Alternator” Hal: 17)**

Pada umumnya turbin angin yang mempunyai dengan beberapa sudu banyak (soliditas tinggi) akan mempunyai torsi yang besar. Turbin angin jenis ini banyak digunakan untuk keperluan mekanikal seperti pemompaan air, pengolahan hasil pertanian dan aerasi tambak. Sedangkan turbin angin dengan jumlah sudu sedikit, misalnya dua atau tiga, digunakan untuk keperluan pembangkit listrik. Turbin angin jenis ini mempunyai torsi rendah tetapi putaran rotor yang tinggi. Pada gambar 1.4. di bawah memperlihatkan korelasi antara efisiensi (λ , TSR=*Tip Speed Ratio*) dengan torsi (CQ). Gambar ini menjelaskan bahwa rotor dengan jumlah sudu banyak akan mempunyai torsi yang besar tetapi efisiensi tidak terlalu tinggi atau sebaliknya.



Gambar 2.4

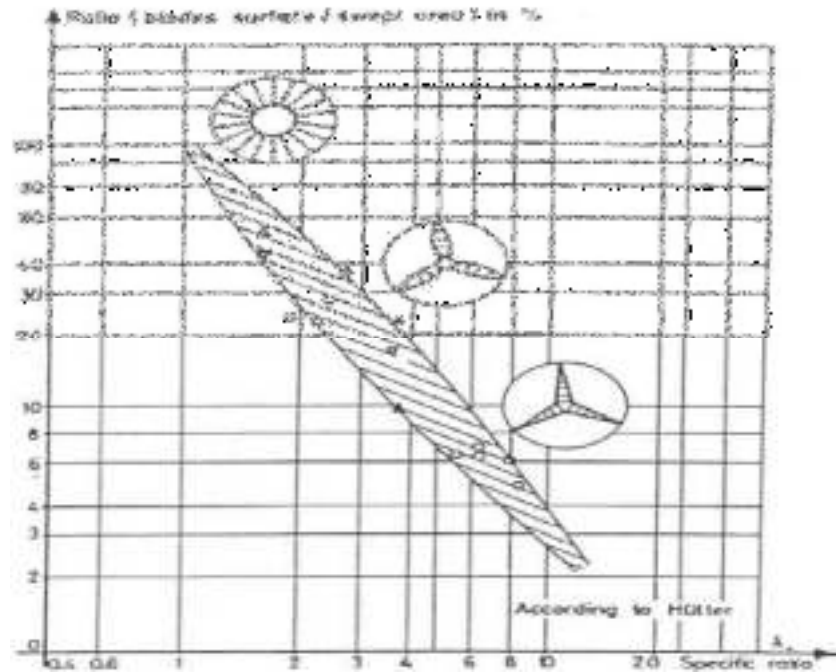
Berbagai jenis turbin angin (www.energy.iastate.edu)



Gambar 2.5 Torsi rotor untuk berbagai jenis turbin angin (Tong,1997).

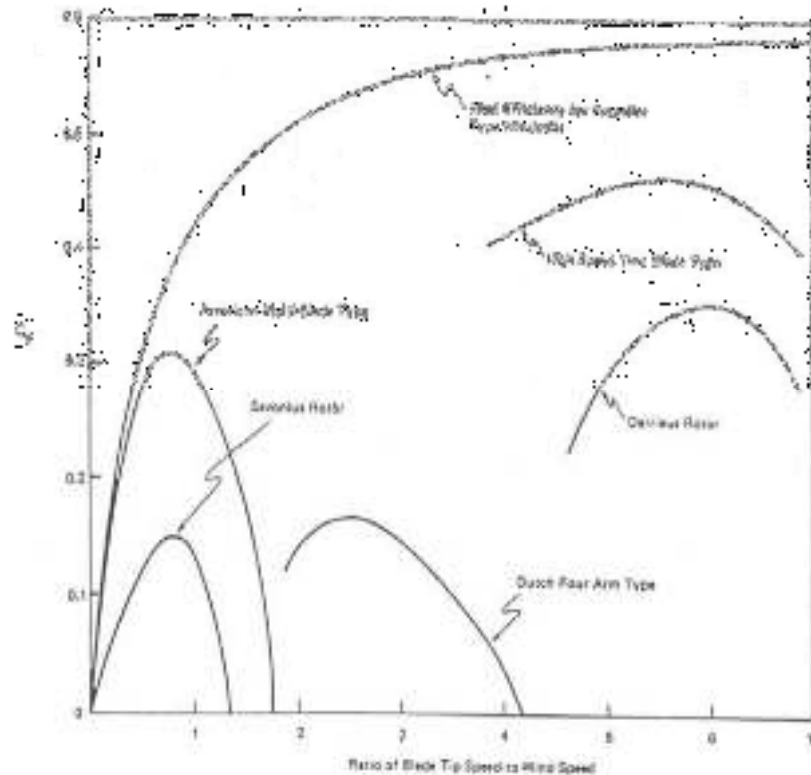
Turbin tiga sudu memiliki rasio kepadatan dan massa yang lebih besar. Hal ini akan berpengaruh terhadap putaran turbin. Semakin besar massa maka semakin besar pula inersianya. Kekuatan struktur juga harus dipertimbangkan bila massa yang berputar besar. Selain itu, turbin tiga sudu memiliki TSR yang lebih rendah dari dua sudu.

Untuk efisiensi rotor ditentukan oleh jenis turbin angin dan kesempurnaan teknologi aerodinamik yang digunakan. Rotor dengan soliditas tinggi mempunyai efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan rotor yang mempunyai soliditas rendah yang mempunyai efisiensi yang sangat tinggi.



Gambar 2.6 Efisiensi rotor dan soliditas rotor (Jansen, 1976)

Gambar 1.7 menunjukkan efisiensi rotor berbagai jenis turbin angin. Di sini terlihat bahwa turbin angin kelompok sumbu horizontal pada umumnya memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan turbin angin sumbu vertikal. Dari gambar ini juga terlihat bahwa pada umumnya turbin angin dengan soliditas tinggi mempunyai torsi yang besar, efisiensi rendah serta *rated wind speed* yang tidak terlalu tinggi. Sehingga terlihat jelas di sini bahwa di daerah-daerah berpotensi energi angin rendah cocok diterapkan teknologi turbin angin *multi blade* yang dapat digunakan untuk keperluan-keperluan mekanikal, seperti pemompaan air.



Gambar 2.7 Efisiensi rotor untuk berbagai tipe turbin

Angin (Tong,1997).

Namun demikian dikatakan di dalam artikel Fauzi Sulaiman, turbin tiga sudu memberikan torsi yang lebih baik. Turbin dengan tiga sudu, resultan torsi yang dihasilkan selalu bernilai positif. *Balancing* untuk turbin dengan tiga sudu lebih mudah dilakukan, sehingga getaran yang muncul dapat diminimalisir. **(Fauzi Sulaiman, *Wind Turbine Billboard Illumination, Pusat Penelitian Energi Berkelanjutan, ITB*)**

2.4.2. Poros

Poros merupakan bagian terpenting dari setiap mesin. Poros (shaft) adalah suatu bagian yang berputar, dalam perencanaan turbin angin yang penulis rencanakan poros berfungsi untuk memutar gear pada turbin angin.

Poros mempunyai peranan yang sangat penting karena tanpa ada poros maka tidak bisa memutar komponen – komponen seperti sudu, gear, dan generator.

Untuk merencanakan poros hal-hal berikut ini perlu diperhatikan:

- Momen puntir yang terjadi.
- Tegangan geser yang diijinkan dan yang terjadi



Gambar 2.8 Poros Bertingkat

Adapun momen puntir adalah :

Jika P adalah daya nominal out put dari motor penggerak, maka berbagai macam faktor keamanan biasanya dapat di ambil dalam perencanaan, sehingga koreksi pertama dapat di ambil kecil. Jika faktor koreksi adalah f_c Tabel 1.6 maka daya rencana P_d (KW) sebagai patokan adalah

$$P_d = f_c \cdot P \quad (\text{kw}) \quad (\text{Elemen Mesin hal.7})$$

Tabel: 2.5 (Elemen Mesin hal:7) faktor-faktor koreksi daya yang akan di tranmisikan f_c .

Daya yang di tranmisikan	f_c
Daya rata-rata yang di perlukan	1,2 – 2,0
Daya maksimum yang di perlukan	0,8 – 1,2
Daya normal	1,0 – 1,5

Sehingga :

$$T = 9,74 \times 10^5 \frac{P_d}{n} \quad (\text{Elemen Mesin hal : 7})$$

Dimana :

T = Momen puntir pada poros (kg/m).

p_d = Daya rencana (kW).

$N =$ Putaran turbin (rpm)

Untuk menentukan tegangan geser yang diijinkan dari suatu bahan poros dapat dihitung dengan rumus :

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{sf_1 \cdot sf_2} \text{ (kg/mm}^2\text{)}$$

Dimana :

$\tau_a =$ Tegangan geser yang diijinkan (kg/mm²)

$\sigma_B =$ Kekuatan Tarik (kg/mm²)

$Sf_1 =$ Faktor keamanan

$Sf_2 =$ Faktor keamanan

1. Untuk Sf_1

(Sf_1 : 5,6 untuk bahan SF dengan kekuatan yang dijamin)

(Sf_1 : 6,0 untuk bahan S - C dengan kekuatan yang dijamin)

2. Untuk Sf_2

(Sf_2 : 1,3 - 3,0 untuk poros beralur pasak / dibuat bertingkat)

(Elemen Mesin hal : 8)

Meskipun dalam perkiraan sementara ditetapkan bahwa beban hanya terjadi atas momen puntir saja, perlu ditinjau pula apakah ada kemungkinan pemakaian dengan beban lentur nantinya. Jika memang diperkirakan akan terjadi pembebanan lentur maka dipertimbangkan pemakaian faktor C_b yang harganya antara 1,2 sampai 2,3.(jika diperkirakan tidak akan terjadi pembebanan lentur maka C_b diambil = 1,0).

Sehingga untuk menghitung diameter poros d_s (mm) yang menerima momen

puntir maka didapat persamaan sebagai berikut :

$$d_s = \left(\frac{5,1}{\tau_a} \cdot K_t \cdot C_b \cdot T \right)^{1/3} \text{ (mm)} \quad (\text{Elemen Mesin hal : 8})$$

Dimana :

d_s = Diameter poros yang direncanakan (mm)

T = torsi (kg / mm).

K_t = Faktor koreksi tumbukan.

C_b = Factor lentur 1,2 – 2,3

τ_a = Tegangan geser yang diijinkan (kg/mm²) (Elemen
Mesin hal:8)

Tegangan geser yang terjadi pada poros (τ) adalah sebagai berikut:

$$\tau = \frac{5,1 \cdot T}{d_s^3} \text{ (kg / mm)} \quad (\text{Elemen Mesin hal : 7})$$

Dimana :

d_s = Diameter poros yang direncanakan (mm)

T = Torsi

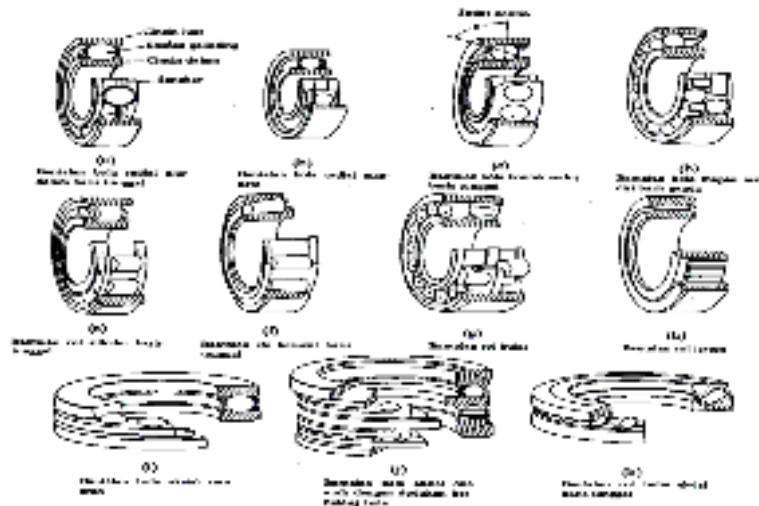
2.4.3. Bantalan

Bantalan adalah merupakan elemen mesin yang mampu menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan panjang umur.

Dalam perencanaan pembangkit listrik tenaga angin kemungkinan penulis rencanakan menggunakan beberapa buah bantalan yang letaknya sebagai penahan poros di raner turbin.

(1). Jenis-Jenis Bantalan Gelinding

Bantalan gelinding mempunyai keuntungan dari segi gesekan gelinding yang sangat kecil dibandingkan bantalan luncur.



Gambar 2.9 jenis-jenis bantalan gelinding

Untuk menghitung umur nominal bantalan maka perlu diketahui beberapa hal yaitu mencari beban ekuivalen dinamis P pada bantalan.

Untuk bantalan radial:

$$Pr = X.V.Fr + Y.Fa \quad (\text{Elemen Mesin hal : 135})$$

Untuk bantalan aksial:

$$P = X . Fr + Y.Fa \quad (\text{Elemen Mesin hal : 135})$$

Dimana:

$$P = \text{Beban ekuivalen dinamis (kg)}$$

F_r = Beban radial (kg)

F_a = beban aksial dalam (kg)

X = factor radial dalam bantalan

V = 1 untuk cincin dalam berputar

Beban radial ekivalen statis P_0 (kg), dan beban ekivalen statis P_{0a} (kg) untuk suatu bantalan yang membawa beban radial F_r (kg) dan beban aksial F_a (kg) dapat di tentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_0 = X_0 F_r + Y_0 F_a \quad (\text{Elemen Mesin hal:135})$$

Harga-harga faktor X_0 dan Y_0 juga dapat di dalam tabel 4.9 elemen mesin hal:135.

Umur nominal bantalan dapat ditentukan sebagai berikut:

Untuk bantalan bola :

$$f_n = \frac{33,3^{\frac{1}{3}}}{n} \quad (\text{Elemen Mesin hal : 136})$$

Dimana :

f_n = Faktor kecepatan

n = Putaran Turbin (rpm)

Faktor umur f_h untuk kedua bantalan bola adalah :

$$f_h = f_n \frac{C}{P} \quad (\text{Elemen Mesin hal : 137})$$

Dimana :

f_h = Faktor umur

C = Beban nominal dinamis spesifik

P = Beban ekivalen dinamis

Maka umur nominal Lh dalam Jam untuk bantalan bola adalah

$$L_h = 500 \cdot f_h^{-3} \quad (\text{Elemen Mesin hal : 137})$$

Lh = Umur nominal bantalan Bola (menit)

fh = Faktor Umur

untuk faktor beban dan beban rata-rata

- 1.) Untuk putaran halus tanpa beban tumbukan (seperti pada motor listrik)
- 2.) Untuk kerja biasa (seperti pada roda gigi reduksi,roda kereta) $f_w = 1,1-1,3$
- 3.) Untuk kerja dengan tumbukan (seperti pada gelinding rol,alat-alat besar) $f_w = 1,2-1,5$

Bila putaran tetap maka:

$$P_m = \sqrt[p]{\alpha P_o^p + \alpha P_{oa}^p} \quad (\text{Elemen Mesin hal:138})$$

2.4.4 Tranmisi

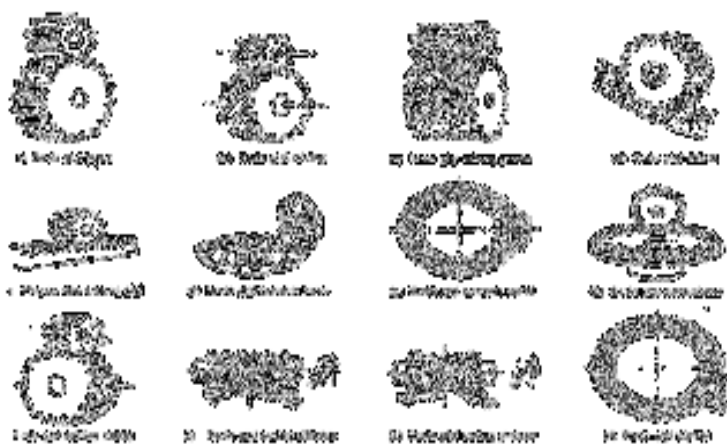
Transmisi manual dan komponen-komponennya merupakan bagian dari sistem pemindah tenaga dari sebuah mesin, yaitu sistem yang berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada turbin menjadi putaran tinggi dan mengatur tingkat kecepatan dalam proses pemindahan tenaga dari sumber tenaga turbin ke generator.

Konsep dasar cara kerja transmisi adalah menggunakan konsep perbandingan momen, melalui sejumlah roda gigi. Dengan konsep tersebut dapat disesuaikan antara tenaga output turbin dengan besarnya beban yang akan di putar. Saat beban berat turbin angin yang akan bergerak,digunakan tingkat kecepatan yang rendah yang

memiliki momen lebih besar. Terdapat beberapa macam roda gigi yang dipergunakan pada transmisi yaitu :

- a) Roda gigi jenis Spur – bentuk giginya lurus sejajar dengan poros, dipergunakan untuk roda gigi geser atau yang bisa digeser (Sliding mesh).
- b) Roda gigi jenis Helical – bentuk giginya miring terhadap poros, dan Roda gigi jenis Double Helical – bentuk giginya dobel miring terhadap poros, dipergunakan untuk roda gigi tetap atau yang tidak bisa digeser (Constant mesh dan synchromesh).
- c) Roda gigi jenis Epicyclic – bentuk giginya lurus atau miring terhadap poros, dipergunakan untuk roda gigi yang tidak tetap kedudukan titik porosnya (Constant mesh).

Di dalam tranmisi terdapat roda gigi dengan perubahan kepala (atau memodifikasi kepala) dan perhitungan kekuatan roda gigi, akan dikenalkan metode perencanaan terbaru secara terperinci, dengan bantuan diagram aliran. Roda gigi diklasifikasikan seperti dalam table 1.3 menurut letak poros arah putaran dan bentuk jalur gigi toda,. Roda-roda gigi terpenting yang disebutkan di bawah:



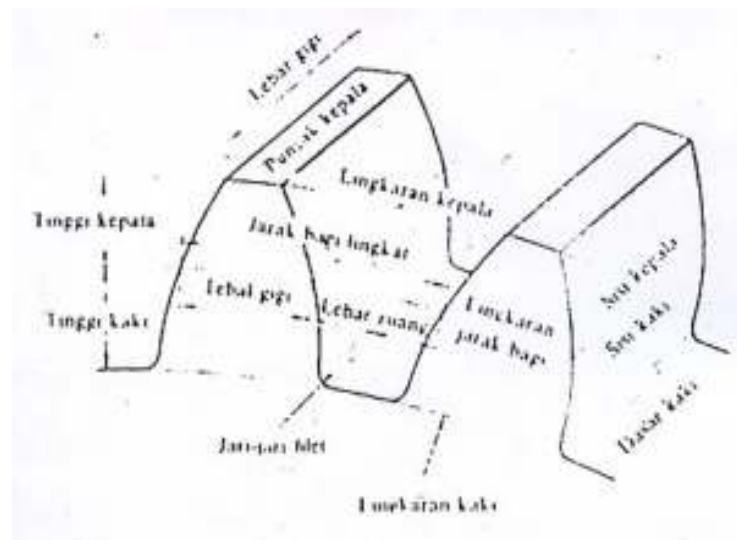
Gambar 2.10 Jenis-jenis roda gigi

Letak Poros	Roda gigi	Keterangan
Roda gigi dengan poros sejajar	Roda gigi lurus, (a) Roda gigi miring, (b) Roda gigi miring ganda, (c)	(klasifikasi atas dasar bentuk alur gigi)
	Roda gigi luar Roda gigi dalam dan pinion, (d) Batang gigi dan pinion, (e)	Arah putaran berlawanan Arah putaran sama Gerakan lurus dan berputar
Roda gigi dengan poros berpotongan	Roda gigi kerucut lurus, (f) Roda gigi kerucut spiral, (g) Roda gigi kerucut Zerol Roda gigi kerucut miring Roda gigi kerucut miring ganda	(klasifikasi atas dasar bentuk alur gigi)
	Roda gigi permukaan dengan poros berpotongan, (h)	Roda gigi dengan poros berpotongan bebrbentuk istimewa
Roda gigi dengan poros silang	Roda gigi miring silang, (i) Batang gigi miring silang	Kontak gigi Gerakan lurus dan berputar
	Roda gigi cacing silindris, (j) Roda gigi cacing selubung ganda (globoid), (k) Roda gigi cacing samping Roda gigi hyperboloid Roda gigi hipoid Roda gigi permukaan silang	

Table 2.6 Klasifikasi Roda Gigi

(1). Nama Bagian Roda Gigi dan Ukurannya

Nama-nama bagian utama pada roda gigi dalam gambar adapun ukurannya dengan diameter lingkaran jarak bagi lingkaran, yaitu jarak sepanjang lingkaran jarak antara profit dua gigi yang berdekatan.



Gambar 2.11. Nama-nama bagian roda gigi

Jika diameter lingkaran jarak dinyatakan dengan d (mm), dan jumlah gigi dengan z , maka jarak bagi lingkaran t (mm) dapat ditulis sebagai :

$$t = \frac{\pi d}{z}$$

Jadi, jarak bagi lingkaran adalah keliling lingkaran jarak bagi dibagi dengan jumlah gigi. Dengan demikian ukuran gigi dapat ditentukan dari besarnya jarak bagi lingkaran tersebut. Namun karena jarak bagi lingkaran selalu mengandung faktor π , pemakaiannya sebagai ukuran dirasakan kurang praktis. Untuk mengatasi hal ini, diambil suatu ukuran yang disebut “modul” dengan lambang m , dimana :

$$m = \frac{d}{z}$$

Dengan cara ini, m dapat ditentukan sebagai bilangan bulat atau bilangan pecahan 0,5 dan 0,25 yang lebih praktis, juga karena:

$$\pi + m = t$$

Maka modul menjadi ukuran gigi. Cara lain untuk menyatakan ukuran gigi ialah dengan “*jarak bagi diameter*”. Dalam diameter lingkaran ini jarak ukuran dibagi dalam inchi, maka jarak bagi diameter DP adalah jumlah gigi per inchi. Jika diameter lingkaran jarak dinyatakan sebagai “*d*” (in), maka jarak bagi i_1 dan i_2 (mm) dan jumlah gigi z_1 dan z_2 maka perbandingan antara z adalah :

$$DP = \frac{Z}{D} \left(\frac{1}{in} \right)$$

Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa jika DP kecil, bearti giginya besar. Adapun hubungan antara DP dan m adalah :

$$m = \frac{25,4}{DP}$$

Roda gigi luar lingkaran jarak bagi antara kepala dan tingginya disebut “*tinggi kepala*” atau *addendum*, yang besarnya sama dengan modul, m (mm), atau satu perjarak dibagi diameter $1/DP$ (in). bagian gigi lingkaran setelah berjalan disebut “*tinggi kaki*” ($1/DP + c_k$) dalam (in). c_k disebut “*kelonggaran puncak*” yaitu celah diantara lingkaran kepala dan lingkaran kaki dari gigi pasangannya. Disepanjang lingkaran jarak bagi, terdapat tebal gigi dan celah atau kelonggaran yang besarnya biasa sama dengan $\pi m/2$ (mm) atau $\pi/(2 DP)$, (in).

Titik potong antara profil gigi dengan lingkaran jarak bagi disebut titik jarak bagi. Profil gigi biasanya berbentuk lengkungan involut dan sudut antara garis normal kurva profil pada titik jarak bagi dengan garis singgung lingkaran jarak pada titik yang sama disebut “*sudut tekanan*” roda gigi yang mempunyai sudut tekanan yang sama besarnya yang telah diuraikan diatas, disebut “*roda gigi standar*”. Roda gigi ini

dapat saling berkerjasama tanpa dipengaruhi oleh jumlah giginya, sehingga dapat disebut roda gigi yang dapat dipertukarkan.

(2). Perbandingan Putaran dan Perbandingan Roda Gigi.

Jika putaran roda gigi yang berpasangan dinyatakan dengan n_1 (rpm) pada poros penggerak dan n_2 (rpm) pada poros yang digerakkan, diameter lingkaran jarak bagi d_1 dan d_2 (mm), dan jumlah gigi z_1 dan z_2 , maka perbandingan putaran u adalah :

$$u = \frac{n_2}{n_1} = \frac{d_1}{d_2} = \frac{m \cdot z_1}{m \cdot z_2} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{1}{i}$$

$$\frac{z_2}{z_1} = i$$

Harga i yaitu perbandingan antara jumlah gigi pada roda gigi dan pinion disebut perbandingan roda gigi atau perbandingan transmisi. Perbandingan ini dapat sebesar 4 – 5 dalam roda gigi standar, dan dapat diperbesar sampai 7 perubahan kepala. Pada roda gigi miring dan roda miring ganda perbandingan tersebut dapat sampai 10.

Jarak sumbu poros a (mm) dan diameter lingkaran jarak bagi d_1 dan d_2 (mm) dapat dinyatakan sebagai berikut

$$a = (d_1 + d_2)/2 = m(z_1 + z_2)/2$$

$$d_1 = 2a/(1 + i)$$

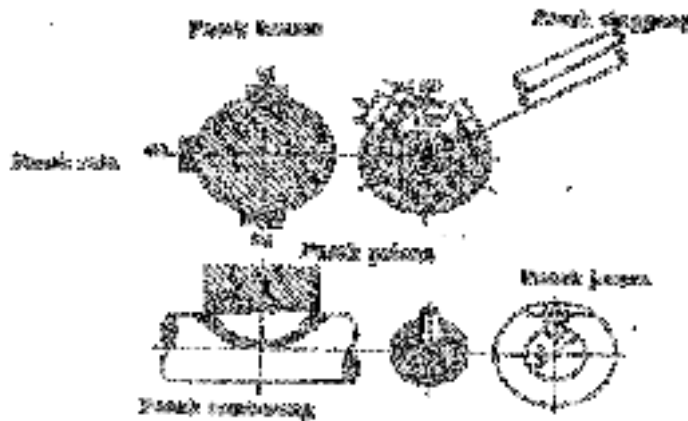
$$d_2 = 2a \cdot i/(1 + i)$$

Tabel 2.7 Harga Modul Standar (satuan : mm)

Seri Ke - 1	Seri Ke - 2	Seri Ke - 3	Seri Ke - 4	Seri Ke - 5	Seri Ke - 6
0,1				3,5	
	0,15		4		3,75
0,2				4,5	
	0,25		5		
0,3				5,5	
	0,35		6		6,5
0,4				7	
	0,45		8		
0,5				9	
	0,55		10		
0,6		0,65		11	
	0,7		12		
	0,75			14	
0,8			16		
	0,9			18	
1			20		
1,25				22	
1,5			25		
	1,17			28	
2			32		
	2,25			36	
2,5			40		
	2,75			45	
3		3,25	50		

2.4.5 Pasak

Pasak merupakan komponen yang berfungsi sebagai pengikat pada sambungan seperti di poros dan roda gigi dalam perencanaan yang saya rencanakan, pasak juga berfungsi untuk meminimalisir terjadinya pergeseran antara komponen yang terhubung.



Gambar 2.12. Macam-Macam Pasak

Untuk mencari diameter poros dan pasak serta alurnya akan ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$F = \frac{T}{\frac{d_s}{2}} \quad (\text{Elemen Mesin hal : 25})$$

Dimana :

T = Momen renca dari poros (kg.mm)

ds = Diameter poros (mm)

F = Gaya tangensial pada permukaan poros (kg)

Gaya geser yang bekerja pada penampang mendatar $b \times l$ (mm²) oleh gaya F (kg). dengan demikian tegangan geser τ_k (kg/mm²) yang ditimbulkan adalah :

$$\tau_k = \frac{F}{bl} \text{ (kg/mm}^2\text{)} \quad (\text{Elemen Mesin hal : 25})$$

Dimana :

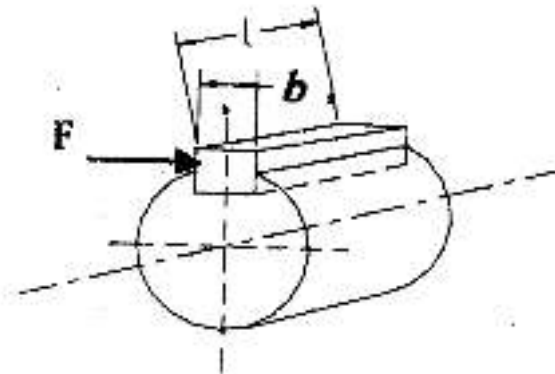
τ_k = Tegangan geser (kg/mm²).

B = Lebar pasak (mm).

L = Panjang pasak (mm).

Dari tegangan geser yang diizinkan τ_{ka} (kg/mm²), panjang pasak l (mm) yang diperlukan dapat diperoleh :

$$\tau_k = \frac{F}{bl} \quad (\text{Elemen Mesin hal : 25})$$



Gambar 2.13 Gaya gesek pada pasak

Sf_{k2} dipilih antara 1-1,5 jika beban di kenakan secara perlahan-lahan, antara 1,5-3 jika dikenakan dengan tumbukan ringan, dan antara 2-5 jika dikenakan secara tiba-tiba dengan tumbukan berat.

Selanjutnya, perhitungan untuk menghindari kerusakan permukaan samping pasak karena tekanan bidang juga diperlukan.

Gaya keliling F (kg) yang sama seperti tersebut diatas dikenakan pada luas permukaan samping pasak. Kedalam alur pasak pada poros dinyatakan dengan t_1 , dan kedalam alur pasak pada naf dengan t_2 abaikan pengurangan luas permukaan oleh pembulatan sudut pasak. Dalam hal ini tekanan permukaan p (kg/mm²) adalah:

$$p = \frac{F}{l \cdot (t_1 \text{ atau } t_2)} \text{ (kg/mm}^2\text{)} \quad (\text{Elemen Mesin hal : 27})$$

Dimana :

F = Gaya tangensial (N).

P = Tekanan permukaan (kg/mm^2).

l = Panjang pasak (mm).

t_1 = Kedalaman alur pasak pada poros (mm).

t_2 = Kedalaman alur pasak pada naf (mm).

Harga Pa adalah sebesar 8 (kg/mm^2) untuk poros dengan diameter sebesar, dan setengah dari harga-harga diatas untuk poros berputaran tinggi.

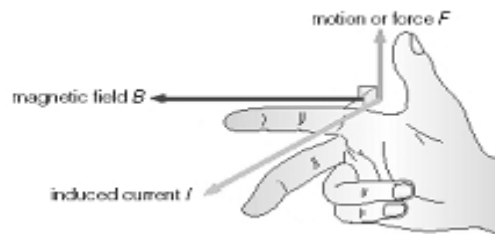
Perlu diperhatikan bahwa lebar pasak sebaiknya antara 25-30% dari diameter poros, dan panjang pasak jangan terlalu panjang dibandingkan dengan diameter poros (antara 0,75 sampai 1,5) karena lebar dan tinggi pasak sudah distandarkan, maka beban yang di timbulkan oleh gaya F yang besar hendaknya diatasi dengan menyesuaikan panjang pasak.

2.4.6. Generator

Generator merupakan sumber utama energi listrik yang dipakai sekarang ini dan merupakan converter terbesar di dunia. Pada prinsipnya tegangan yang dihasilkan generator bersifat bolak-balik, sedangkan generator yang menghasilkan tegangan searah karena telah mengalami proses penyearahan.

Generator adalah suatu mesin yang menggunakan magnet untuk mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Prinsip generator secara sederhana dapat dikatakan bahwa tegangan diinduksikan pada konduktor apabila konduktor tersebut bergerak pada medan magnet sehingga memotong garis-garis gaya². Hukum tangan kanan Fleming berlaku pada generator dimana menyebutkan bahwa terdapat

hubungan antara penghantar bergerak, arah medan magnet dan arah resultan dari aliran arus yang terinduksi. Apabila ibu jari menunjukkan arah gerakan penghantar, telunjuk menunjukkan arah fluks, jari tengah menunjukkan arah aliran elektron yang terinduksi.



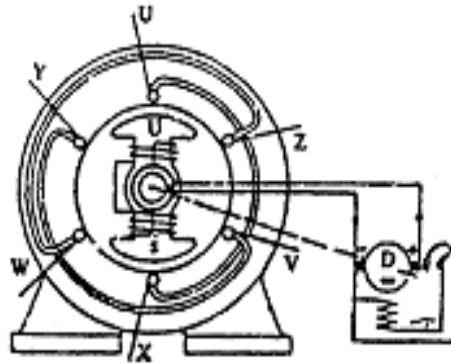
Gambar :2.14 Kaidah tangan kanan Fleming.

Hukum ini juga berlaku apabila magnet sebagai pengganti penghantar yang digerakkan. Jumlah tegangan yang diinduksikan pada penghantar saat penghantar bergerak pada medan magnet tergantung pada:

1. Kekuatan medan magnet, makin kuat medan magnet makin besar tegangan yang diinduksikan.
2. Kecepatan penghantar dalam memotong fluks, makin cepat maka semakin besar tegangan yang diinduksikan.
3. Sudut perpotongan, pada sudut 90 derajat tegangan induksi maksimum dan tegangan kurang bila kurang dari 90 derajat.
4. Panjang penghantar pada medan magnet.

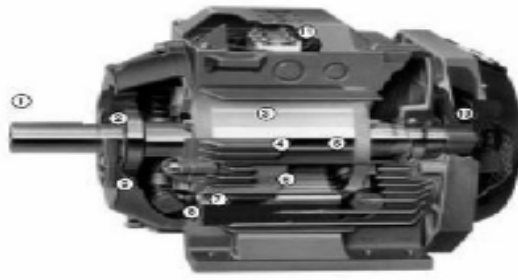
Generator AC dan generator DC memiliki perbedaan prinsip. Untuk generator DC kumparan jangkar ada pada bagian rotor dan terletak di antara kutub-kutub magnet yang tetap di tempat, diputar oleh tenaga mekanik. Pada generator AC, konstruksinya sebaliknya yaitu, kumparan jangkar disebut juga

kumparan stator karena berbeda pada tempat yang tetap, sedangkan kumparan rotor bersama-sama dengan kutub magnet diputar oleh tenaga mekanik.



Gambar 2.15 Konstruksi generator sinkron

Jika kumparan rotor yang berfungsi sebagai pembangkit kumparan medan magnet yang terletak di antara kutub magnet utara dan selatan diputar oleh tenaga air atau tenaga lainnya, maka pada kumparan rotor akan timbul medan magnet atau fluks yang bersifat bolak-balik atau fluks putar. Flux putar ini akan memotong-motong kumparan stator, sehingga pada ujung-ujung kumparan stator timbul gaya gerak listrik karena pengaruh induksi dan flux putar tersebut. Gaya gerak listrik (ggl) yang timbul pada kumparan stator juga bersifat bolak-balik, atau berputar dengan kecepatan sinkron terhadap kecepatan putar rotor.



- | | |
|------------------------|--------------------|
| 1. Generator shaft | 7. Coil |
| 2. Rolling bearings | 8. Stator plates |
| 3. Rotor | 9. Coil heads |
| 4. Rotor aluminum bar | 10. Ventilator |
| 5. Rotor aluminum ring | 11. Connection box |
| 6. Stator | |

Gambar 2.16 Generator

Adapun perhitungan untuk daya generator dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P_{Gn} = P_{\text{turbin}} \cdot \eta_{\text{transmisi}}$$

Dimana :

P_{turbin} = daya turbin (watt)

$\eta_{\text{transmisi}}$ = efisiensi transmisi (0,90)

BAB III

PERENCANAAN DAN PERHITUNGAN

3.1. Kontruksi Turbin Angin

Kontruksi turbin angin secara umum dijelaskan, terdiri dari sudu, poros, bantalan, gearbox, generator.

3.1.1 Daya yang dihasilkan

Diketahui Sebagai Berikut :

Lebar bawah sudu (a) = 10 cm

Lebar atas sudu (b) = 30 cm

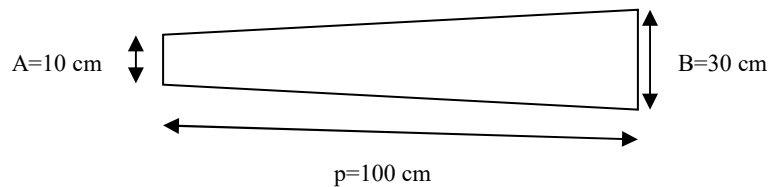
Tebal sudu (t) = 1 cm

Panjang sudu = 100 cm

Diameter rotor = 2 m

Jumlah sudu = 2 buah

Luas sudu =

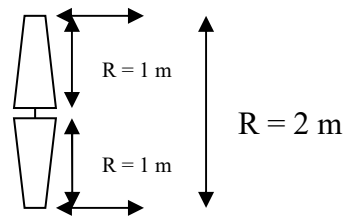


Gambar 3.1. Bentuk Sudu

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{2} \cdot (A+B) \cdot p \cdot t \\ &= \frac{1}{2} \times (10 + 30) \times 100 \times 1 \\ &= 200 \text{ cm} \end{aligned}$$

Kecepatan angin $v = 2 \text{ m/s}$

- Untuk mengetahui luas rotor dapat di hitung sebagai berikut :



Gambar 3.2 Bentuk Rotor

$$\begin{aligned}
 A_{\text{Rotor}} &= \pi \cdot r^2 \\
 &= 3,14 \cdot 1^2 \\
 &= 3,14 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

- Untuk massa jenis udara:

$$\begin{aligned}
 \rho &= 3,485 \cdot \frac{P}{T} \\
 &= 3,485 \cdot \frac{101,325}{300,51} \\
 &= 1,175 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

- Untuk putaran turbin angin adalah:

Diketahui :

Radius turbin $r = 1 \text{ m}$

$$\text{Kecepatan putaran linier, } n = \frac{v}{(\pi r^2)} \times 60 = \frac{2 \text{ m/s}}{(\pi 1^2)} \times 60 = 38,216 \text{ rpm}$$

- TSR (*Tip Speed Ratio*) atau perbandingan kecepatan di *tip* kincir angin (ujung)

dan kecepatan angin yang didapat oleh kincir.

Maka kecepatan sudutnya :

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 38,216}{60} = 3,999 \text{ rad/s}$$

Maka :

$$\lambda = \frac{\omega \cdot r}{v}$$

$$\lambda = \frac{3,999 \cdot 1}{2} = 1,9995 \text{ m}^2/\text{s}$$

➤ Torque = $\frac{v^2 \cdot r^3}{\lambda^2} = \frac{2^2 \cdot 1^3}{1,9995^2} = 1,00$

➤ Untuk daya rotor turbin :

$$\begin{aligned} P_{\text{Rotor}} &= \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot T}{60} \\ &= \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 38,216 \cdot 1,000}{60} \\ &= 3,999 \text{ W} \end{aligned}$$

➤ Maka daya angin teoritis yang dihasilkan adalah :

$$\begin{aligned} P_0 &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \\ P_0 &= \frac{1}{2} \cdot 1,176 \cdot 3,14 \cdot 2^3 = 14,770 \text{ W} \end{aligned}$$

➤ Untuk coefesien daya

$$C_p = \frac{\text{Daya rotor turbin}}{\text{Daya angin teoritis}} = \frac{3,999}{14,770} = 0,27$$

➤ Daya kincir angin

$$\begin{aligned} P &= C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \\ &= 0,27 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,175 \cdot 3,14 \cdot 2^3 \\ &= 3,988 \text{ W} \end{aligned}$$

➤ **Berat sudu**

Karena sudu berbentuk trapesium maka Luas sudu dapat di hitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}L_{\text{sudu}} &= \frac{1}{2} \cdot (A+B) \cdot P \\ &= \frac{1}{2} \cdot (30 + 10) \cdot 100 \\ &= 200 \text{ Cm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{\text{sudu}} &= L_{\text{sudu}} \cdot t \\ &= 200 \cdot 1 \\ &= 200 \text{ Cm}^3\end{aligned}$$

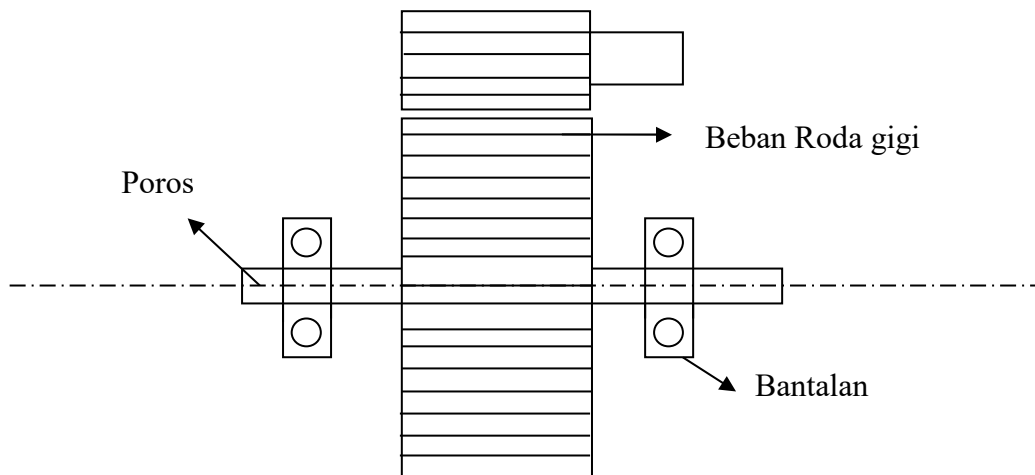
Bahan dari sudu tersebut menggunakan bahan fiberglass di ketahui bahwa berat jenis fiberglass adalah 2,55 g/cc di ubah menjadi 0,00255 kg/ cm³ maka dapat di hitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}F_{\text{sudu}} &= V_{\text{sudu}} \cdot \text{berat jenis fiberglass} \\ &= 200 \cdot 2,55 \\ &= 5,1 \text{ kg/ cm}^3\end{aligned}$$

Karena menggunakan 2 buah sudu maka:

$$\begin{aligned}F_{\text{total sudu}} &= 2 \cdot 5,1 \\ &= 10,2 \text{ kg/cm}^3\end{aligned}$$

3.1.2 Perhitungan Roda gigi



Gambar.3.3 Roda gigi tranmisi

1. Daya yang akan ditransmisikan $P = 3,988$ (W),
Putaran poros, $n_1 = 38,216$ (rpm),
Perbandingan reduksi, $i = 10$,
Jarak sumbu poros, $a \approx 110$ mm.
2. Faktor koreksi $f_c = 2$
3. Daya rencana P_d

$$\begin{aligned} P_d &= f_c \times P \\ &= 2 \times 3,988 \\ &= 7,976 \text{ W} \approx 0,007976 \text{ KW} \end{aligned}$$

4. Diameter sementara lingkaran jarak bagi :

$$d'_2 = 2a / (1 + i)$$

$$d'_2 = 2 \cdot 110 / (1 + 10)$$

$$d'_2 = 20 \text{ (mm)}$$

$$d'_1 = 2a \cdot i / (1 + i)$$

$$d'_1 = 2 \cdot 110 \cdot 10 / (1 + 10)$$

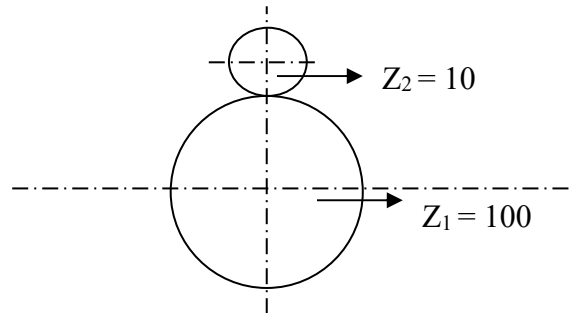
$$d'_1 = 200 \text{ (mm)}$$

5. Karena jumlah gigi pada pinyon sudah ditentukan yaitu $z_1 = 100$, maka untuk mencari Modul pahat (m) dapat dicari dengan persamaan berikut :

sudut tekanan pahat $\alpha_0 = 20^\circ$

$$z_1 = \frac{d'_1}{m} \quad \rightarrow \quad m = \frac{d'_1}{z_1} = \frac{200}{100} = 2$$

6. Jumlah gigi (z_1, z_2), perbandingan gigi i



Gambar 3.4 Perbandingan Roda Gigi

$$z_1 = \frac{d'_1}{m} = \frac{200}{2} = 100$$

$$z_2 = \frac{d'_2}{m} = \frac{20}{2} = 10$$

Maka perbandingan gigi :

$$i = \frac{z_1}{z_2} = \frac{100}{10} = 10$$

7. Diameter lingkaran jarak bagi.

$$\begin{aligned} do_1 &= z_1 \cdot m & do_2 &= z_2 \cdot m \\ &= 100 \cdot 2 & &= 10 \cdot 2 \\ &= 200 \text{ mm} & &= 20 \text{ mm} \end{aligned}$$

Jarak sumbu poros :

$$a_o = \frac{do_1 + do_2}{m} = \frac{200 \text{ mm} + 20 \text{ mm}}{2} = 110 \text{ mm}$$

8. Kelonggaran sisi C_o (mm).

$$C_o = 0$$

Kelonggaran puncak c_k (mm) :

$$\begin{aligned}c_k &= 0,25 \cdot m \\ &= 0,25 \cdot 2 \\ &= 0,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

9. Diameter kepala d_k (mm).

$$\begin{aligned}dk_1 &= (z_1 + 2) \cdot m & dk_2 &= (z_2 + 2) \cdot m \\ &= (100 + 2) \cdot 2 & &= (10 + 2) \cdot 2 \\ &= 204 \text{ mm} & &= 6 \text{ mm}\end{aligned}$$

Diameter kaki d_f (mm):

$$\begin{aligned}d_{f1} &= (z_1 - 2) \cdot m - 2 \cdot c_k \\ &= (100 - 2) \cdot 2 - 2 \cdot 0,5 \\ &= 195 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}d_{f2} &= (z_2 - 2) \cdot m - 2 \cdot c_k \\ &= (20 - 2) \cdot 2 - 2 \cdot 0,5 \\ &= 35 \text{ mm}\end{aligned}$$

Kedalaman pemotongan (mm):

$$\begin{aligned}H &= 2 \cdot m + c_k \\ &= 2 \cdot 2 + 0,5 \\ &= 4,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

10. Faktor bentuk gigi Y_1 dan Y_2 .

Dari table 6.5 didapat

$$Y_1 = 0,446$$

$$Y_2 = 0,201$$

11. Kecepatan keliling v (m/s).

$$v = \frac{\pi \cdot d_0 \cdot n_1}{60 \cdot 1000}$$

$$v = \frac{3,14 \cdot 200 \cdot 38,216}{60.000}$$

$$v = 0,399 \text{ m/s}$$

Gaya tangensial F_t (kg) :

$$F_t = \frac{102 \cdot P_d}{v}$$

$$F_t = \frac{102 \cdot 0,007976}{0,399}$$

$$F_t = 2,038 \text{ kg.}$$

12. Factor dinamis f_v .

Karena v kurang dari 10 (m/s) dalam table 2.5.... Maka :

$$f_v = \frac{3}{3 + v}$$

$$f_v = \frac{3}{3 + 0,399}$$

$$f_v = 0,88 \text{ m/s}$$

13. Bahan masing – masing gigi, perlakuan panas :

Pinyon : Baja Karbon

Kekuatan tarik S45C adalah : σ_{B1} = 58 (kg/mm²)

Kekerasan permukaan sisi gigi : H_{B1} = 198 (rata – rata)

Roda gigi besar : Baja Cor

Kekuatan tarik bahan SC49: σ_{B2} = 49 (kg/mm²)

Kekerasan permukaan sisi gigi : H_{B2} = 190

14. Tegangan :

Pinyon

Tegangan lentur yang diizinkan, S45C : $\sigma_{a1} = 30$ (kg/mm²)

Roda gigi besar

Tegangan lentur yang diizinkan, SC 49: $\sigma_{a2} = 20$ (kg/mm²)

Faktor tegangan kontak :

Misalkan faktor tegangan kontak diambil antara baja dengan kekerasan (400 H_B)

dengan baja cor; maka $k_H = 0,311$ (table 6.8)

15. Bahan lentur yang diijinkan persatuan lebar.

$$\begin{aligned}F_1 b_1 &= \sigma_{a1} \cdot m \cdot Y_1 \cdot f_v \\ &= 30 \cdot 2 \cdot 0,446 \cdot 0,88 \\ &= 23,5488 \text{ kg/mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_1 b_2 &= \sigma_{a2} \cdot m \cdot Y_2 \cdot f_v \\ &= 20 \cdot 2 \cdot 0,201 \cdot 0,88 \\ &= 7,392 \text{ kg/mm}\end{aligned}$$

Beban permukaan yang diizinkan per satuan lebar :

$$\begin{aligned}F'_H &= f_v \cdot k_H \cdot d o_1 \frac{2 \cdot z_2}{z_1 + z_2} \\ &= 0,88 \cdot 0,311 \cdot 200 \frac{2 \cdot 10}{100 + 10} \\ &= 9,952 \text{ kg/mm}\end{aligned}$$

Harga minimum antara $F_1 b_1, F_1 b_2, F'_H$ adalah $F'_{min} = 7,392 \text{ kg/mm}$

16. Lebar sisi b (mm) :

$$b = \frac{F_t}{F'_{min}}$$

$$= \frac{2,038}{7,392}$$

$$= 0,275 \text{ mm}$$

17. Berat pada roda gigi

Karena roda gigi berbentuk lingkaran dan mempunyai tinggi maka volume roda gigi dapat di hitung dengan cara:

$$\text{volume roda gigi} = \pi \cdot r^2 \cdot t$$

$$= 3,14 \cdot 5^2 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm}$$

$$= 78,5 \text{ cm}^3 \approx 0,0785 \text{ m}^3$$

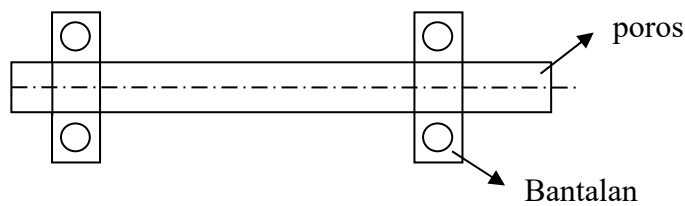
Maka berat roda gigi dapat di hitung dengan:

$$\text{Berat roda gigi} = \text{volume roda gigi} \times \text{berat jenis baja}$$

$$= 0,0785 \times 7,85 \text{ kg/m}^3$$

$$= \mathbf{0,59503 \text{ kg}}$$

3.1.3 Perhitungan Poros



Gambar 3.5 Penempatan Poros

➤ Momen puntir

$$T = 9,74 \cdot 10^5 \frac{P_d}{n}$$

$$P_d = \text{daya rencana} = f_c \times P$$

f_c = faktor koreksi

faktor koreksi dipilih pada daya rata-rata yang diperlukan yaitu 2, maka

$$P_d = f_c \times P = 2 \times 3,98466 = 7,976 \text{ W} \approx 0,007976 \text{ KW}$$

$$T = 9,74 \cdot 10^5 \frac{0,007976}{38,216} = 203,281 \text{ kg.mm}$$

➤ Bahan poros

Bahan yang digunakan yaitu baja S45C-D dengan kekuatan tarik $\sigma_B = 60$ kg/mm². (Sularso, Table 1.1 hal.3.)

Berat jenis bahan = 7.850 kg/m³.

Panjang poros yang direncanakan 115 cm

Tegangan geser yang diizinkan pada poros :

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{Sf_1 \cdot Sf_2}$$

➤ Untuk Sf_1

(Sf_1 : 5,6 untuk bahan SF dengan kekuatan yang dijamin)

(Sf_1 : 6,0 untuk bahan S - C dengan kekuatan yang dijamin)

➤ Untuk Sf_2

(Sf_2 : 1,3 - 3,0 untuk poros beralur pasak / dibuat bertingkat)

(Dasar Perencanaan & Pemilihan elemen mesin ; Sularso, K.Suga: 8)

$$\tau_a = \frac{60}{6 \cdot 3} = 3,333 \text{ kg/mm}^2$$

➤ Faktor koreksi untuk momen puntir, K_t

Menurut ASME, jika beban di kenakan secara halus, 1,0-1,5 jika sedikit kejutan dan tumbukan, dan 1,5-3,0 jika beban di kenakan dengan kejutan dan tumbukan yang besar. Jika terjadi beban di kenakan dengan kejutan dan tumbukan yang besar maka faktor koreksi untuk momen puntir diambil $K_t = 3,0$.

➤ Faktor koreksi lenturan, C_b

Meskipun dalam perkiraan sementara ditetapkan bahwa beban hanya terdiri atas momen puntir saja, perlu ditinjau apakah ada kemungkinan terjadi beban lentur nantinya. Untuk itu faktor lenturan diambil $C_b = 2,3$

- Diameter poros, d_s

$$d_s = \left(\frac{5,1}{\tau_a} K_t \cdot C_b \cdot T \right)^{1/3}$$

$$= \left(\frac{5,1}{3,333} 3 \cdot 2,3 \cdot 203,281 \right)^{1/3}$$

$$= 12,899 \text{ mm} \approx 1,3 \text{ cm}$$

Karena untuk menyesuaikan poros dengan bantalan maka poros yang di ambil sebesar $15 \text{ mm} \approx 1,5 \text{ cm}$

- Tegangan geser yang terjadi pada poros (τ) adalah sebagai berikut:

$$\tau = \frac{5,1 \cdot T}{d_s^3}$$

$$\tau = \frac{5,1 \cdot 203,281}{12,899^3} = 0,48 \text{ kg/mm}^2$$

- Berat Poros

Karena poros berbentuk lingkaran dan mempunyai tinggi maka volume poros dapat di hitung dengan cara:

$$\text{volume poros} = \pi \cdot r^2 \cdot t$$

$$= 3,14 \cdot 1,5^2 \text{ cm} \cdot 11,5 \text{ cm}$$

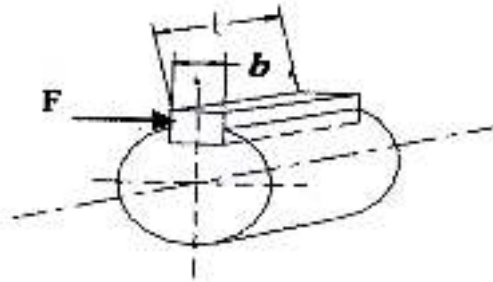
$$= 81,2475 \text{ cm}^3 \approx 0,0812 \text{ m}^3$$

Maka berat poros dapat di hitung dengan:

$$\begin{aligned}
\text{Berat poros} &= \text{volume roda gigi} \times \text{berat jenis baja} \\
&= 0,0812 \text{ m}^3 \times 7,85 \text{ kg/m}^3 \\
&= 0,637 \text{ kg}
\end{aligned}$$

3.1.4 Perhitungan Pasak

- Gaya tangensial pada permukaan poros



Gambar 3.6 Gaya Pasak

$$\begin{aligned}
F &= \frac{T}{(d_s/2)} \\
&= \frac{203,281}{(12,899 / 2)} \\
&= 7,879 \text{ kg} \approx 7,9 \text{ kg}
\end{aligned}$$

- Ukuran pasak

Sesuai dengan tabel 1.8 (lampiran) dan ukuran poros didapat :

$$\text{Penampang pasak, } b \times h = 5 \times 5$$

$$\text{Panjang pasak } l = 10 - 56$$

$$\text{Kedalaman alur pasak pada poros } t_1 = 3,0 \text{ mm}$$

$$\text{Kedalaman alur pasak pada naf } t_2 = 2,3 \text{ mm}$$

- Tegangan geser τ_k (kg/mm²) yang di timbulkan:

$$\begin{aligned}\tau_k &= \frac{F}{b.l} \\ &= \frac{7,879}{5 \times 10} \\ &= 0,157 \text{ kg/mm}^2 \approx 0,16 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

- Tekanan permukaan P (kg/mm²)

$$\begin{aligned}P &= \frac{F}{l \times (t_1 \text{ atau } t_2)} \\ &= \frac{7,879}{10 \times (t_1 = 3,0)} \\ &= 0,26 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

- Bahan pasak

Bahan yang digunakan yaitu baja St-40 dengan kekuatan tarik $\sigma_B = 60 \text{ kg/mm}^2$, harga Sf_{k1} umumnya diambil 6, dan Sf_{k2} dipilih diantara 1 - 1,5. Jika beban dikenakan secara perlahan - lahan 1,5 - 3, dan jika dikenakan dengan tumbukan ringan, dan antara 2 - 5 jika dikenakan secara tiba - tiba dengan tumbukan berat.

- Tegangan geser pasak yang diizinkan, τ_{ka}

$$\begin{aligned}\tau_{ka} &= \frac{\sigma_B}{Sf_{k1} \cdot Sf_{k2}} \\ &= \frac{60}{6 \cdot 5} \\ &= 2 \text{ kg/mm}^2\end{aligned}$$

- Tekanan permukaan pasak yang diizinkan, p_k

Harga $p_k = 8 \text{ kg/mm}^2$, dipilih harga demikian karena pasak digunakan untuk poros yang berdiameter besar.

- Pertimbangan pasak

$$b/d_s = 0,25 - 0,35$$

$$\frac{5}{15} = 0,33 \rightarrow \text{baik}$$

3.1.5 Bantalan

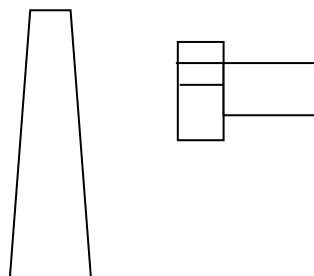
Dalam perencanaan kali ini bantalan yang dipilih adalah bantalan bola alur dalam, Berdasarkan perhitungan diameter poros sebesar 12,899 mm untuk menyesuaikan bantalan yang terdapat pada tabel maka penulis memilih dengan diameter 15 mm yang sesuai dengan standarisasi sebagai berikut:

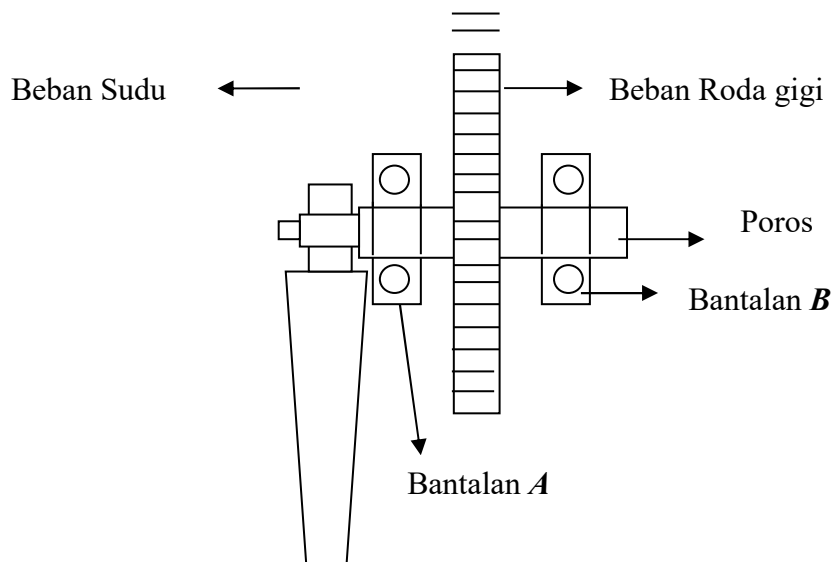
Data – data yang diperoleh sebagai berikut:

- a. Diameter inner d = 15 mm
- b. Diameter outer D = 32 mm
- c. Lebar bantalan B = 9 mm
- d. Beban dinamik C = 440 kg
- e. Beban statik Co = 263 kg
- f. Sudut kontak nominal α = 20°
- g. Kecepatan Putaran maksimum n = 38,216 Rpm
- h. Nomor nominal = 02ZZ

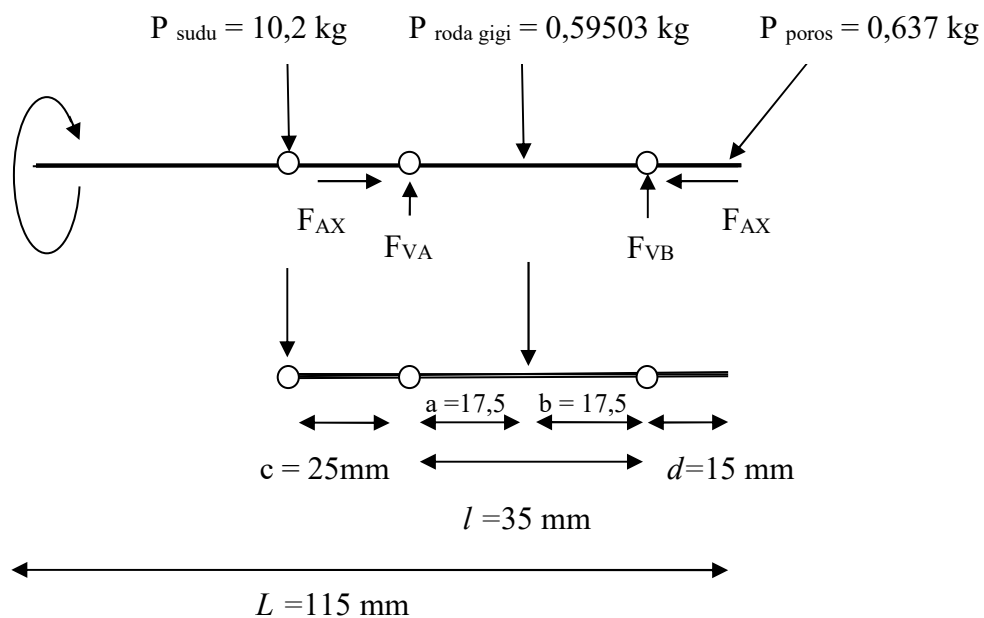
dan dari data perhitungan sebelumnya diketahui:

- Beban Poros, $P_s = 11,432$ kg
- Diameter poros/diameter dalam bantalan,
 $d_s = 15$ mm, $r_s = 7,5$ mm
- Putaran poros, $n = 38,216$ rpm





Gambar 3.7 Penempatan Bantalan



A. Gaya yang bekerja pada bantalan

Momen gaya pada roda gigi

$$\Sigma X = 0$$

$$\Sigma Y = 0 \rightarrow F_{VA} + F_{VB} - P$$

$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow P \times a - F_{VB} \times l = 0$$

$$F_{VB} = P \times a / l$$

$$= \frac{(0,59503 \times 17,5)}{35}$$

$$= 0,2975 \text{ kg}$$

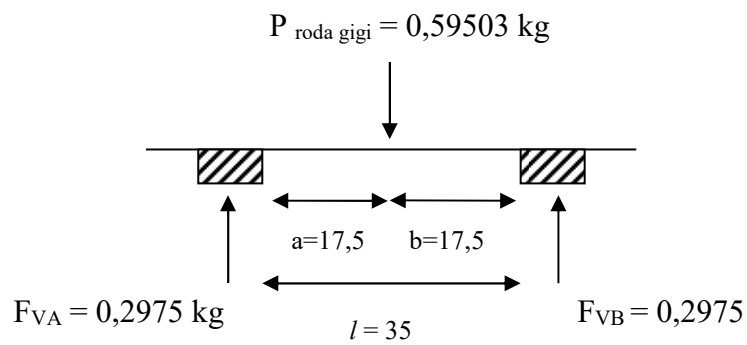
$$F_{VA} + F_{VB} - P = 0 \rightarrow \frac{F_{VA} + (P \times a)}{l}$$

$$F_{VA} = \frac{P - (P \times a)}{(a+b)}$$

$$F_{VA} = \frac{P \times b}{l}$$

$$= \frac{(0,59503 \times 17,5)}{35}$$

$$= 0,2975 \text{ kg}$$



Momen gaya pada sudu

$$\Sigma M_B = 0 \rightarrow P \times (c + l) - F_{VA} \times l = 0$$

$$F_{VA} = \frac{P \times (c+l)}{l}$$

$$= \frac{10,2 \times (25+35)}{35}$$

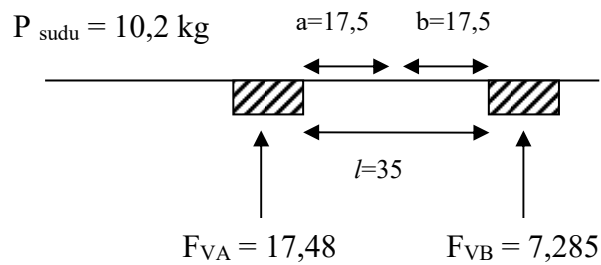
$$= 17,48 \text{ kg}$$

$$\Sigma M_B = 0 \rightarrow P \times c - l = 0$$

$$F_{VB} = \frac{(P \times c)}{l}$$

$$= \frac{(10,2 \times 25)}{35}$$

$$= 7,285 \text{ kg}$$



Maka keseluruhan momen yang terjadi pada poros dapat di hitung sebagai berikut :

$$F_{VA} = F_{VA \text{ sudu}} + F_{VA \text{ Roda gigi}}$$

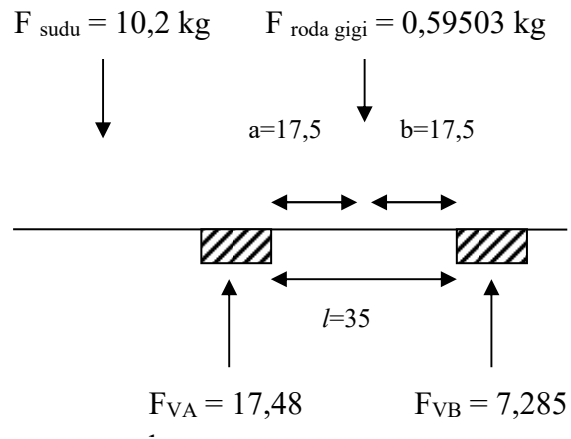
$$= 17,48 + 0,2975$$

$$= 17,7775 \text{ kg}$$

$$F_{VB} = F_{VB \text{ sudu}} + F_{VB \text{ Roda gigi}}$$

$$= 7,285 + 0,2975$$

$$= 7,5825 \text{ kg}$$



$$M_{VA} = F_{\text{sudu}} \times c$$

$$= 10,2 \times 25$$

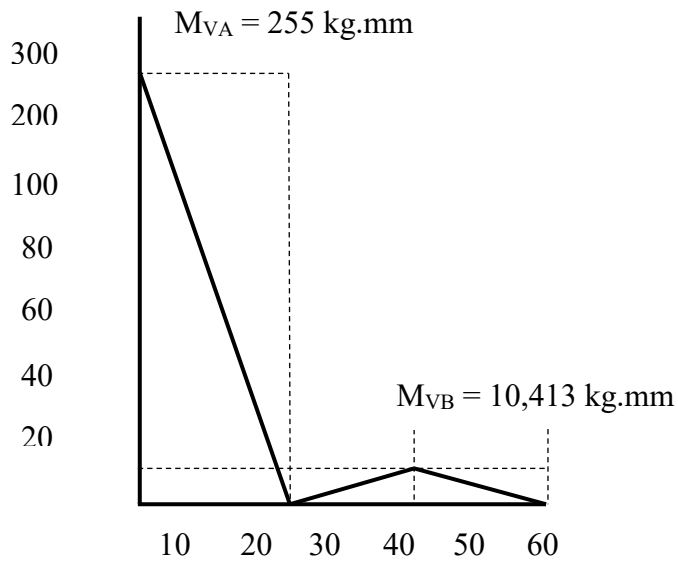
$$= 255 \text{ kg.mm}$$

$$M_{VB} = F_{\text{roda gigi}} \times b$$

$$= 0,59503 \times 17,5$$

$$= 10,413 \text{ kg.mm}$$

Diagram momen lentur pada poros



B. Bahan Bantalan

Dipilih dari baja khrom karbon tinggi, karena baja ini dapat memberikan umur panjang dengan keausan sangat kecil.

C. Nomor Nominal Bantalan

Dalam hal ini, bantalan dipilih dari katalog bantalan yaitu 02ZZ

D. Faktor beban dan beban rata-rata

$f_w = 1,2-1,5$, untuk kerja dengan tumbukan

E. Kapasitas Nominal Bantalan

dari Katalog Bantalan :

Beban dinamik C = 440 kg

Beban statik C_0 = 263 kg

F. Faktor e, V, X, Y

dari tabel 2.7 didapat

$$e = 0,28$$

$$V = 1,2$$

$F_a/VF_r > e$, maka:

$$X = 0,56$$

$$Y = 1,55$$

G. Perhitungan Beban Dan Umur Bantalan

▪ Beban Ekivalen

untuk bantalan radial

$$\begin{aligned} P_r &= X V F_r + Y F_a \\ &= 0,56 \cdot 1 \cdot 1,469 + 1,55 \cdot 6,859 \\ &= 11,454 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Untuk bantalan aksial, beban aksial Akivalen dinamis P_a (Kg)

$$\begin{aligned} P_a &= X F_r + Y F_a \\ &= 0,56 \cdot 1,469 + 1,55 \cdot 6,859 \\ &= 11,454 \text{ Kg} \end{aligned}$$

Beban radial ekivalen statis.

$$\begin{aligned} P_o &= X_0 F_r + Y_0 F_a \\ &= (0,6 \times 1,469) + (0,5 \times 6,859) \\ &= 4,3109 \text{ kg} \end{aligned}$$

Beban aksial ekivalen statis.

$$\begin{aligned}
P_{oa} &= F_a + 2,3F_r \tan \alpha \\
&= 6,859 + (2,3 \times 1,469 \times \tan 20^\circ) \\
&= 8,085 \text{ kg}
\end{aligned}$$

▪ **Umur bantalan**

beban rata-rata

$$\begin{aligned}
P_m &= \sqrt[p]{\alpha P_o^p + \alpha P_{oa}^p} \\
&= \sqrt[3]{20 \cdot 4,070^3 + 20 \cdot 7,635^3} = 1,732
\end{aligned}$$

faktor kecepatan.

$$f_n = \left(\frac{33,3}{n} \right)^{1/3} = \left(\frac{33,3}{38,216} \right)^{1/3} = 0,95$$

faktor umur.

$$f_h = f_n \frac{C}{P_o} = 0,95 \times \frac{440}{4,070} = 102,70$$

Umur nominal bantalan.

$$L_h = 500f_h^3 = 500 \cdot 102,70^3 = 541603341,5 \text{ h}$$

H. Pelumasan Bantalan

Karena bantalan digunakan untuk kecepatan tinggi dengan beban yang ringan, maka sistem pelumasan menggunakan minyak, pelumasan dilakukan dengan cara tetes.

3.1.6 Perhitungan Daya Generator

Setelah daya turbin diketahui maka daya generator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_{Gn} = P_{\text{kincir angin}} \cdot \pi_{\text{transmisi}}$$

Dimana :

$$P_{\text{kincir angin}} = \text{daya kincir angin}$$

$$\pi_{\text{transmisi}} = \text{efisiensi transmisi (0,90)} \quad (\text{elemen mesin hal : 347})$$

Maka :

$$\begin{aligned} P_{Gn} &= \mathbf{0,007976 \text{ KW} \cdot 0,90} \\ &= \mathbf{0,0071784} \end{aligned}$$

BAB IV PENUTUP

4.1 KESIMPULAN

Setelah melalui proses perencanaan dalam perhitungan yang di lakukan dalam tugas akhir ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tugas akhir ini berhasil dapat menghasilkan listrik dengan kecepatan angin rata-rata yang di dapat dari BMKG 2 m/dtk. Sehingga tegangan keluaran dari generator sebesar sebesar 0,0071784 KW.
2. Perencanaan turbin angin ini menggunakan 2 buah blade yang di mana turbin angin tersebut dapat menghasilkan torsi sebesar 203,281 kg.mm dan tegangan keluaran generator sebesar 0,0071784 KW
3. Semakin besar angin yang ada di ketinggian semakin besar putaran yang dihasilkan oleh turbin dan daya yang dapat di hasilkan oleh turbin angin.

5.2 SARAN

Agar dapat dikembangkan pada waktu-waktu selanjutnya, penulis memberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Untuk mendesain suatu pembangkit listrik tenaga angin, harus diperhitungkan desain blade yang sesuai dengan kecepatan angin didaerah tersebut dan daya yang ingin dihasilkan.
2. Penggunaan kincir angin dengan diameter besar sangat dianjurkan untuk membuat pembangkit listrik tenaga angin dengan kecepatan angin yang cukup besar jika ingin digunakan untuk penerangan.
3. Tegangan pengisian accu dari pembangkit idealnya harus konstan, dan tidak dianjurkan melakukan pengisian accu menggunakan tegangan yang terlalu besar untuk menjaga masa pemakaian accu.

4. Untuk kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK), pembangkitan energi listrik pada mobil listrik dapat digunakan menjadi salah satu alternatif untuk membantu mengurangi pemakaian energi yang semakin bertambah.

DAFTAR PUSTAKA

Archie W Culp, Jr., Ir. Darwin Sitompul, “*Prinsip-Prinsip Konversi Energi*” Penerbit: Erlangga Jakarta 1996

Hery Alamsyah, “*Pemanfaatan Turbin Angin Dua Sudu Sebagai Penggerak Mula Alternator Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin*” Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang 2007.

Johnson, Gary L. 2006 Wind Energy Systems, <URL:<http://eece.ksu.edu/~gjohnson/Windbook.pd>>.

Masrum, ST.MT, Bahan Ajar Elemen III, Universitas Muhammadiyah. Pontianak, 2003.

Moh. Saiful Anwar, “*Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Pada Stasiun Pengisian Accu Mobil Listrik*” Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, 2008

Sularso, Kiyokatsu Suga, “*Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*” Penerbit: Pradnya Paratama, Jakarta 1980.

Y. Daryanto, Tugas Akhir “*Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik tenaga Bayu*” Balai PPTAGG-UPT-LLAG 2007.

<http://www.kincirangin.info/plta-gbr.php>

<http://geroback.wordpress.com/2010/05/09/material-komposit/>